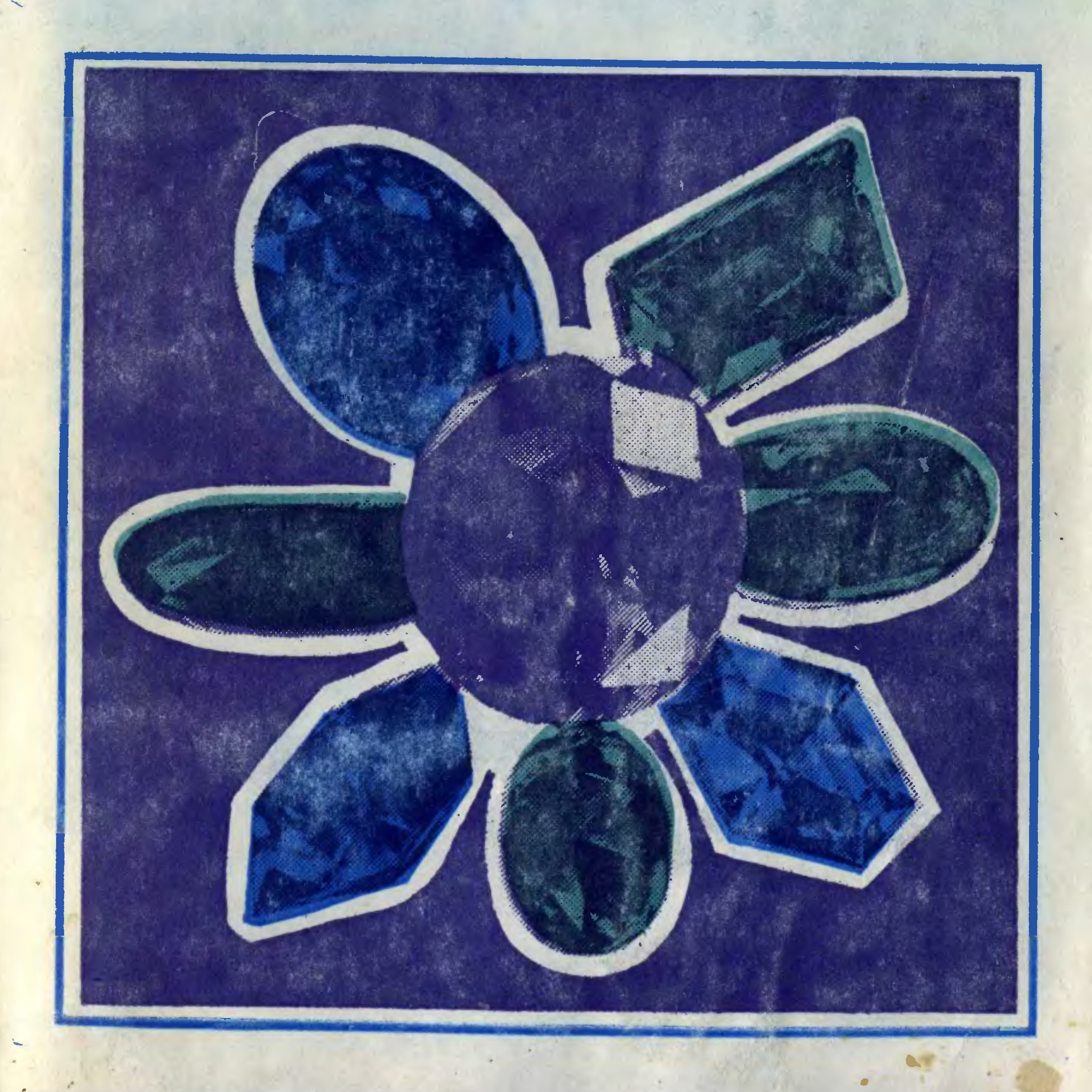
С.Ф. АХМЕТОВ

ИСКУССТВЕННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ГРАНАТА



ИЗДАТЕЛЬСТВО · НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Наука и технический прогресс»

С. Ф. АХМЕТОВ

ИСКУССТВЕННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ГРАНАТА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1982

А 95 Ахметов С. Ф. Искусственные кристаллы граната. М.: Наука, 1982.

Описываются природные гранаты, их происхождение, физические свойства и использование. Рассказывается о синтезе новых искусственных соединений со структурой граната, об их роли в современной науке и технике.

28.2.3

Ответственный редактор

академик Н. В. БЕЛОВ

А $\frac{2802030000-229}{054(02)-82}$ 7—28 НП

ОТ РЕДАКТОРА

Гранат — один из древнейших драгоценных камней. Наших предков он привлекал тревожным кроваво-красным цветом и высокой твердостью. История знает периоды повышенного интереса к ювелирным гранатам и периоды их полного забвения. В последние годы выращены гранаты, которые значительно превосходят природных собратьев по многим показателям и применяются не только в ювелирном деле, но и во многих областях науки и техники. Лазеры, оптические приборы, электронно-вычислительные машины немыслимы без гранатов.

Книга, которую вы открыли, полностью соответствует научно-популярному жанру. Она научна, поскольку все приведенные данные многократно проверены несколькими поколениями ученых. Она популярна, потому что написана живым образным языком и с юмором ведет читателя от одной главы к другой. Книгу с интересом прочтут старшеклассники, выбирающие профессию. Студенты геологических вузов получат дополнительный материал к лекциям. Любители самоцветов найдут в книге интересные сведения о гранатах, узнают о том месте, которое они занимают среди других минералов, познакомятся со страницами произведений Ф. Рабле, О. Уайльда, А. Конан Дойла, А. Куприна, П. Бажова, И. Ефремова, посвященных этому ювелирному камню.

Предлагаемая книга — первое научно-популярное произведение, целиком посвященное гранатам. Можно сказать больше — это сага о гранатах, написанная с любовью и даже несколько восторженно. И это понятно. Автор много лет занимается выращиванием и исследованием гранатов. В содружестве с другими учеными он впервые синтезировал некоторые гранаты, нашедшие применение в народном хозяйстве.

Академик *Н. В. Белов*

ОТ АВТОРА

Гранат по праву считается одним из красивейших самоцветов.

Ему присущ ряд ценных физических качеств. Он обладает высокой механической прочностью, термической и химической стойкостью, способностью значительно снижать скорость звука при прохождении через него звуковой волны. Поэтому монокристаллы граната играют всевозрастающую роль в развитии важнейших направлений науки и техники. Без гранатов не могут обойтись квантовая и полупроводниковая электроника, микроэлектроника, приборостроение, электронно-вычислительная, ракетная и космическая техника. Благодаря широчайшей гамме цветов, износоустойчивости, высокому показателю преломления и дисперсии гранаты представляют большой интерес для ювелирной промышленности.

В мировой научной литературе гранатам отведено значительное место. Подробно освещаются вопросы, связанные с исследованием структурных особенностей и физических параметров кристаллов, изучением условий и методов выращивания, созданием ростового оборудования.

Автору книги повезло. В течение 20 лет он выращивает и исследует искусственные кристаллы граната. Сначала это были гидрогроссуляры и гидропиропы, затем — иттриево-алюминиевый и лантанидно-алюминиевые гранаты.

В процессе работы над рукописью автор с удовольствием перерыл груду художественных, научно-популярных и научных книг. Большую помощь в этом оказала Г. Л. Ахметова. Она же вместе с Г. П. Капрановой подготовила все рисунки. Внимательно прочитали книгу в рукописи и помогли дельными советами и замечаниями К. С. Ахметов, Х. С. Багдасаров, С. А. Ермолинский, В. В. Илюхин, С. И. Павлов, С. А. Смирнова. Автор выражает живейшую признательность всем, кто хотел, чтобы книга состоялась.

ЧТО ЕСТЬ ГРАНАТЫ?

Еще за десять веков до новой эры гранат почитался за драгоценный камень наравне с рубином, изумрудом, алмазом. В Библии есть такие строки: «Всяким камением драгим украсился еси, сардием, и топазием, и смарагдом, и якинфом, и анфраксом, и сапфиром, и ясписом, и сребром, и златом, и лигирием, и ахатом...» («Книга пророка Иезекииля», гл. 28, ст. 13). У Плиния Старшего [1] встречаем упоминание о карбункуле — так он называл минерал гранат.

В словаре В. И. Даля антракс трактуется как злая болячка, злой вред, карбункул [1, т. 1, с. 18]. Карбункулом же, с одной стороны, названа болячка, опасный, многоголовый веред, а с другой — пироп, драгоценный камень из рода гранатов.

Вот как получается иногда! Одним и тем же словом обозначены зловредная болячка и драгоценный камень. Произошло это, видимо, из-за того, что слова «антракс» и «карбункул» в переводе с греческого и латинского означают уголек. Черная болячка на теле похожа на уголек. Огненно-красные сверкающие гранаты — тоже угольки, но тлеющие и пылающие. Кстати, слова «антрацит», «карбон», «карбид», «карбонарий» — тех же корней.

На Руси гранаты-пиропы также называли антраксами и карбункулами. «Книга глаголемая гречески алфавит» (XVII в.) сообщает: «Анфракс камень честен велми зелен образом, обретаетжеся в Халкидоне ливийстем, иже нарицается Африкия» [2, вып. 1, с. 41]. В фантастическом «Сказании об Индийском царстве» (вторая половина XV в.) написано: «Есть камень кармакаул, тои же камень господин всем камением драгим, в нощи же светит, аки огнь горит» [3, с. 362]. Немного дальше опять: «В тои же палате есть столпа два: на едином столпе

---

[1] Плиний Старший (23—79 гг. н. э.) — римский писатель, ученый, государственный деятель. Автор «Естественной истории», своеобразной энциклопедии естественнонаучных знаний античности. Трагически погиб в Помпее при извержении Везувия.

камень, имя ему троп, а на другом столпе камень, имя ему кармакаул, в нощи же светит камень тои драгыи, аки день, а в день, аки злато, а оба велики, аки корчаги» [3, с. 366].

«Сказанию об Индийском царстве» вторит рукопись XVII в.: «Карфамуколос есть камень видом, аки югль горящь, светит же и нощию». «Книга нарицаемая Козмография...» (XVIII в.) сообщает: «И там лежит корона их князя, над чолом камень карбун безценний, и от того каменя як от огня светится» [4, вып. 7, с. 77]. А теперь заглянем в совершенно реалистическое «Хождение за три моря» Афанасия Никитина (1472 г.). Тверской купец и путешественник рассказывает: «В Пегу же пристань немалая и живут в нем все индийские дервиши. А родятся в нем драгоценные камни, маник, да яхут, да кырпук» [5, с. 438].

Легко догадаться, что кармакаул, карфамуколос, карбун и кырпук есть измененные названия карбункула. Отметим также, что карбункул считался господином всех драгоценных камней.

Позже гранаты стали называть бечетом и венисой (винисой). «Торговая книга» XVI в. предостерегает: «Бечеты за лал не купите. Бечет знати к цвету: в нем как пузырьки» [2, вып. 1, с. 183]. И еще: «А берегите того, чтобы вам винисы за лал не продали, а виниса камень красен, а цвет жидок у нево» [2, вып. 2, с. 180]. Предостережения эти не лишни, так как лал (драгоценная шпинель) значительно дороже граната.

Слово «вениса» происходит от персидского «бенефсе» — фиолетовый. (Бируни, ученый-энциклопедист XI в., указывал, что красный цвет граната не лишен фиалкового оттенка [5, с. 78].) Бечет же, или бечета, восходит к арабскому названию граната-альмандина — «биджази», описанному Бируни в его знаменитой книге о драгоценных камнях.

Средневековый ученый-схоласт Альбертус Магнус перевел слово «биджази» на латинский язык как «гранатус», т. е. подобный зернам [6, с. 55]. Дело в том, что тесно сросшиеся алые кристаллы весьма напоминают сочные зерна плода гранатового дерева. В наше время термин «гранаты» прочно закрепился за множеством природных и искусственных соединений, аналогичных по своей структуре.

Попробуем разобраться в структуре граната.

Общую формулу гранатов изображают в виде $A_3B_2 \cdot (SiO_4)_3$. Вместо литеры «А» можно подставить следующие двухвалентные элементы: кальций (Ca), магний (Mg), железо (Fe), марганец (Mn); вместо «В» — трехвалентные алюминий (Al), железо или хром (Cr). Под символом Si подразумевается элемент кремний. Гранаты разного состава по-разному и называются. Например, упомянутый уже пироп описывается формулой $Mg_3Al_2 \cdot (SiO_4)_3$.

Общеизвестно, что атом — это наименьшая частичка химического элемента, являющаяся носителем его свойств, а молекула — это наименьшая частица вещества, обладающая ее химическими свойствами. Можно ли молекулу считать наименьшей частицей кристалла, обладающей всеми свойствами кристалла? Нет, нельзя. Алмаз и графит состоят из углерода. С одной стороны, они близкие родственники. Их, например, можно сжечь в кислороде с образованием углекислого газа. С другой стороны, алмаз — самый твердый кристалл в мире, а графит — один из самых мягких. Значит, есть какой-то решающий фактор, резко изменяющий свойства кристаллов. Этим фактором является взаимное расположение молекул.

В графите атомы углерода уложены слоями. Структуру кристалла можно представить в виде стопки бумажных листов, легко отделяемых друг от друга. Минимальная частичка, сохраняющая все свойства графита, представляет собой параллелепипед, который называется элементарной ячейкой. Высота ее равна 679, а сторона основания — 247 пикометров (пм). В такой миниатюрной квартире «живут» четыре углеродных атома.

Элементарная ячейка алмаза имеет вид правильного куба, сторона которого равна 356 пм. В ячейке на равном расстоянии друг от друга расположились восемь атомов углерода. Несложные расчеты показывают, что ячейка алмаза по объему в 1,6 раза меньше графитовой, а углеродных атомов содержит вдвое больше. Поэтому алмаз так тверд.

Итак, элементарная ячейка — это наименьшая часть кристалла, сохраняющая все его свойства. Если кристалл истолочь до размеров, меньших его элементарной ячейки, то он перестанет существовать. Алмаз превратится в сажу.

Пироп, как и любой кристалл, тоже состоит из элементарных ячеек. Они имеют форму куба с размером

стороны 1114 пм [7, с. 360]. В каждом кубике находятся 24 атома магния, 16 — алюминия, 24 — кремния и 96 атомов кислорода. Формулу пиропа следует писать так: $Mg_{24}Al_{16}(SiO_4)_{24}$. Но это очень громоздко и неудобно. Поэтому договорились все коэффициенты уменьшить в восемь раз и получили более удобную для различных операций формулу — $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$.

Каждый атом, входящий в элементарную ячейку пиропа, можно изобразить в виде шарика. Самый крупный шар — ион кислорода, его радиус колеблется в пределах от 138 до 142 пм. У магния ионный радиус меньше — 89 пм, у алюминия еще меньше — 53. Наконец, ионный радиус кремния равен 26 пм [8, т. 6, с. 331].

В структуре пиропа каждый металлический ион окружен ионами кислорода. Естественно, чем больше ионный радиус металла, тем большим количеством кислородных шариков он может быть окружен.

Магниевый шарик собирает вокруг себя восемь шаров из кислорода. При этом, если соединить центры кислородных шариков, образуется очень интересный полиэдр (рис. 1, *а*). В общем-то это куб, противоположные грани которого повернуты параллельно друг другу примерно на 30°. Увеличилось и количество ребер. Полиэдр назван кубом Томсона.

Ион алюминия окружен шестью ионами кислорода, которые образуют восьмигранник-октаэдр (рис. 1, *б*). Самый маленький ион кремния удобно размещается между четырьмя ионами кислорода, центры которых лежат в вершинах четырехгранника-тетраэдра (рис. 1, *в*).

Итак, мы видим в пиропе три сорта строительных «кирпичиков»: кубы Томсона, октаэдры и тетраэдры. Как же их сложить, чтобы получился пироп?

Представьте себе прозрачный куб, противоположные вершины которого соединены прямыми линиями — диагоналями. Разумеется, количество телесных диагоналей не может быть больше четырех (рис. 2). Соединим гранями два таких куба, сверху на них поставим еще два. В каждом из кубов проведем только одну телесную диагональ таким образом, чтобы они не повторяли друг друга, не были параллельными. Это сделать легко, поскольку у нас четыре куба и четыре возможности провести диагональ (рис. 3). Теперь на каждую диагональ нанижем алюмокислородные октаэдры. В результате мы получили четыре непересекающихся низки бус. Вот они-то, по

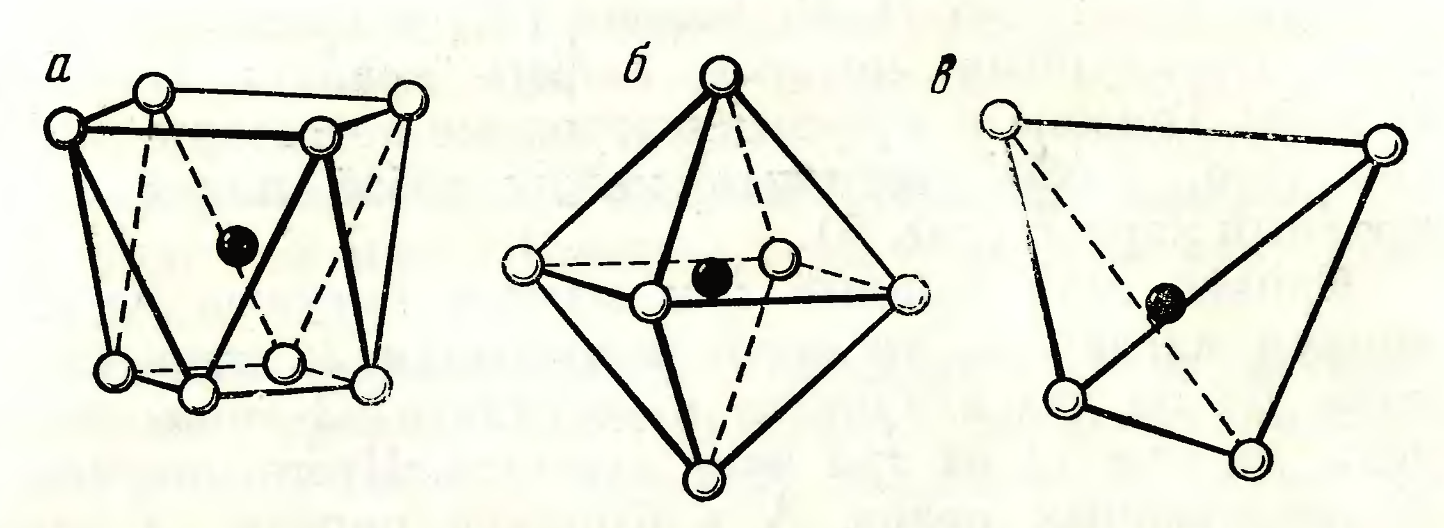


Рис. 1. Структурные элементы решетки граната

а — куб Томсона; *б* — октаэдр; *в* — тетраэдр; черный шарик — ион металла, белый — кислорода

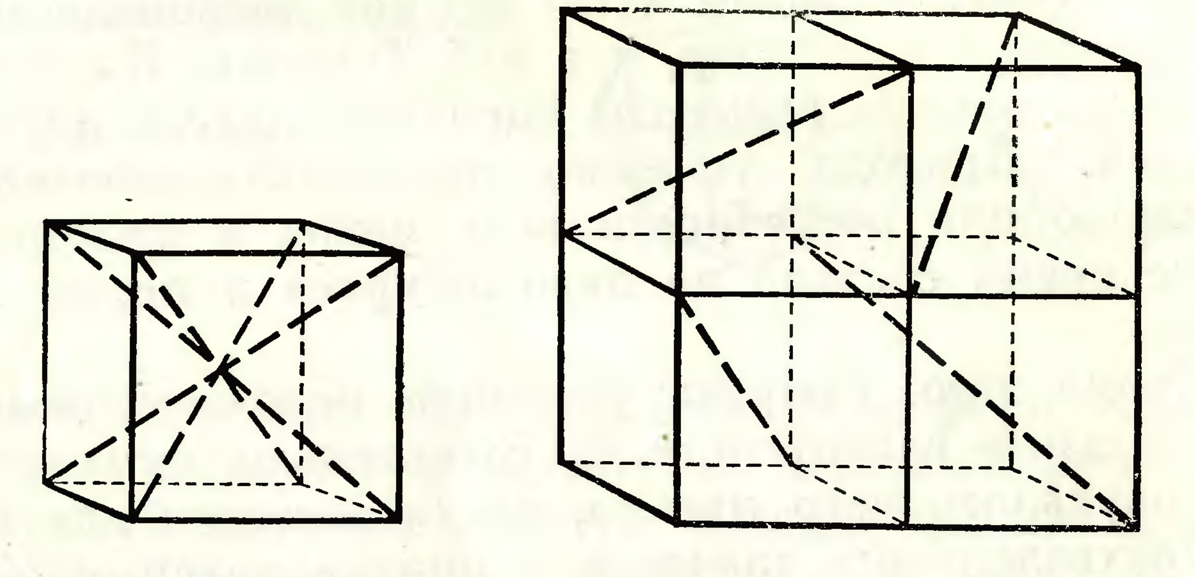


Рис. 2. Куб с полным набором телесных диагоналей

Рис. 3. Четыре куба с непересекающимися телесными диагоналями

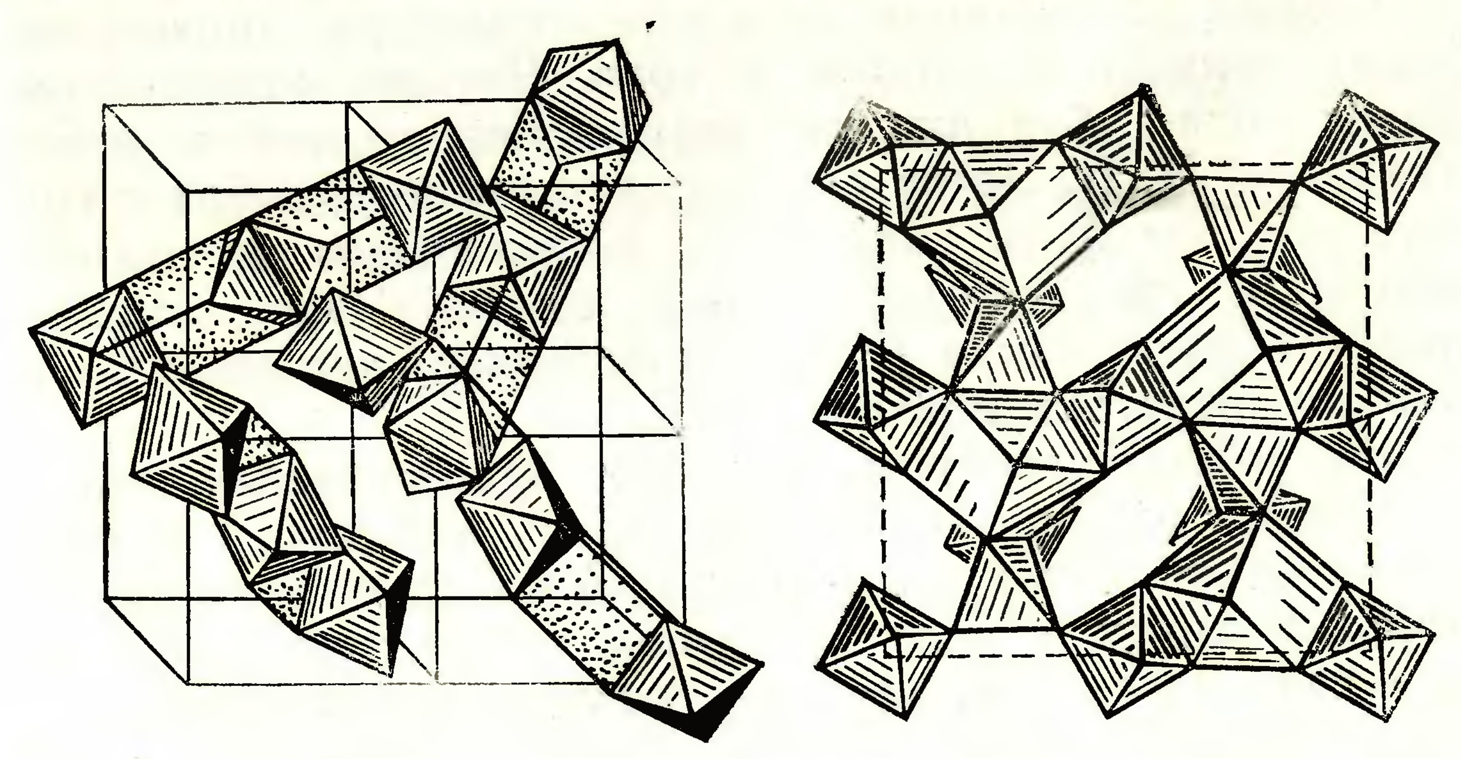


Рис. 4. Основной структурный мотив граната (по Н. В. Белову)

Рис. 5. Размещение полиэдров в элементарной ячейке граната (вид сверху)

мнению академика Н. В. Белова [9], и являются основным структурным мотивом любого граната (рис. 4). А кубы Томсона и кремнекислородные тетраэдры нужны для того, чтобы соединить между собой низки бус в прочный каркас (рис. 5).

Однако если каждый ион магния окружен восемью ионами кислорода, то всего потребуется 24 иона кислорода. Да на два алюминия надо отдать 12 ионов кислорода, да еще 12 на три иона кремния. Итого получается 48 кислородных ионов. А в формуле пиропа их всего-навсего 12. В чем дело?

Да, кислорода явно не хватает. И для создания гранатовой структуры природа так располагает строительные «кирпичики», что один и тот же ион кислорода входит и в тетраэдр, и в октаэдр, и в куб Томсона. Иначе говоря, все строительные элементы сцеплены друг с другом вершинами. Природа успешно преодолела противоречие: удовлетворила потребности всех ионов в кислороде и в то же время создала на диво ажурное и прочное соединение.

Кроме того, природа уравняла положительные и отрицательные валентности. Действительно, суммарный заряд двухвалентного магния, трехвалентного алюминия и четырехвалентного кремния в пиропе равен +24, а общий заряд кислородных ионов равен −24. Удивительно точный баланс!

Тонкая, невидимая глазом структура определяет форму зримого кристалла пиропа. Четыре непересекающихся низки бус диктуют положение граней и ребер. Академик Н. В. Белов считает, что грани и ребра в гранате должны быть непременно параллельны по отношению к основному структурному мотиву. Этому условию удовлетворяют такие формы кристаллов, как ромбододекаэдр и тетрагонтриоктаэдр [10].

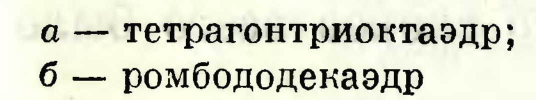
Попробуем разобраться в этих многоэтажных словах.

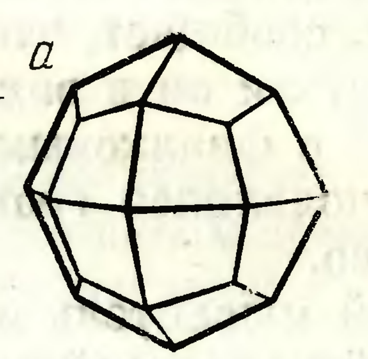
Учение о кристаллах развивалось в Древней Элладе, и многие термины пришли к нам из греческого языка. Поэтому прежде всего составим небольшой словарик: *ди* — два, *три* — три, *тетра* — четыре, *пента* — пять, *гекса* — шесть, *окта* — восемь, *додека* — двенадцать, *гон* — угол, *эдр* — грань.

Этих девяти слов вполне достаточно, чтобы описать облик любых гранатов.

Разложим слово «тетрагонтриоктаэдр» на простые множители: тетра—гон—три—окта—эдр. «Тетрагон» переводится как «четыре угла», т. е. «четырехугольник». Два следующих слова означают «трижды восемь», или «двадцать четыре». Наконец, «эдр» соответствует слову «грань».

Полный перевод слова — «двадцать четыре четырехугольных грани». Действительно, тетрагонтриоктаэдр представляет собой замкнутый двадцатичетырехгранник, каждая грань которого есть четырехугольник с попарно равными сторонами (рис. 6, *а*).





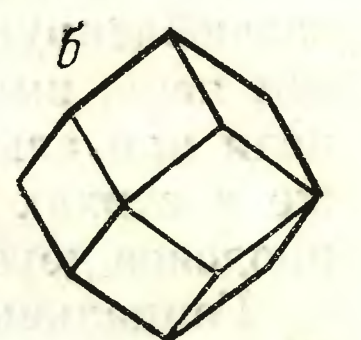


Рис. 6. Основные формы кристаллов граната

а — тетрагонтриоктаэдр; *б* — ромбододекаэдр

Теперь проделаем обратную работу: по форме кристалла определим его название. Вот мы держим в руках кроваво-красный кристалл граната. Каждая его грань является ромбом, а количество таких ромбов равно 12. Что это может быть? Конечно, ромбододекаэдр (рис. 6, *б*)!

Теперь уже совсем легко разобраться в таких языколомных словах, как пентагонтритетраэдр, тригонтриоктаэдр, пентагондодекаэдр. Ну, а тетраэдр и октаэдр, которыми мы обозначили строительные «кирпичики» в структуре граната, и вовсе не представляют сложности.

Кстати, ромбододекаэдр настолько характерен для гранатов, что такую форму кристаллов даже предлагали назвать гранатоэдром.

ГРАНАТОВЫЙ ФОЛЬКЛОР

Бируни сказал: «Если бы драгоценные камни не служили украшением, то они не отличались бы от золота и серебра, ибо они также непригодны сами по себе для удовлетворения нужд людей... Они не нуждаются в том, чтобы их оценивали путем замены золотом или серебром, так как они сами представляют вещественные ценности,

достоинство которых заключается в том, что они воспринимаются чувствами как прекрасное» [5, с. 17].

Драгоценные камни воспринимаются нами как прекрасное! Есть письменные подтверждения, что начиная с IX в. до н. э. красоту камня понимали и ценили шумеры, египтяне, греки, арабы. «Каменная тематика» вторглась и в литературу. Самоцветы не только украшали возлюбленных, но и служили источником метафор. Жемчуг зубов, кораллы губ, мраморные перси упоминаются во многих поэтических строчках.

Гранатам, правда, не повезло, поскольку они цветом напоминают рубин или шпинель. И когда поэт, восхваляя возлюбленную, сообщает, что рот у нее лалами ал, не совсем ясно, имеет ли он в виду кроваво-красный цвет шпинели или алый с фиалковым оттенком цвет граната. Если же в стихах появлялся гранат, то это скорее всего было плодовое дерево.

Гениальный мыслитель и поэт средневекового Востока Джами в одной из газелей написал [11, с. 61]:

В море мук омыл я руки, смыл с ладоней след надежды,
Рвался к счастью и увидел бездну пасти роковой.
Сердца кровь в глазах — не слезы, словно каплет сок гранатный:
Из-за уст твоих гранатных, видно, цвет у слез такой...
О Джами, как больно сердцу, так оно набухло кровью,
Что готово разорваться, как бутон цветка весной!

(*Перевод В. Державина*).

Могучий Хайям, математик и поэт, так представил себя в одном из рубаи [12, с. 56]:

Я — словно старый дуб, что бурею разбит;
Увял и пожелтел гранат моих ланит.
Все естество мое — колонны, стены, кровля,—
Развалиною став, о смерти говорит.

(*Перевод О. Румера*).

Тонкие лирики, Джами и Хайям сравнивают человека с увядающим деревом, а не с практически вечным камнем. Их стихи обладают поэтической и жизненной достоверностью. Думаю, и нам ближе образ человека-цветка, нежели человека-камня.

Иную задачу решал в своем сонете португальский поэт Камоэнс [13], которого Пушкин ставил в один ряд с

Данте, Петраркой, Шекспиром.

О нимфа, неприступна и строга,
ты словно вся из камня и металла:
в копне волос, что золотом упала
на мрамор лба, как солнце на снега,

в рубинах рта, где зубы — жемчуга,
в смарагдах дивных глаз, в горящих ало
гранатах щек — холодный блеск кристалла,
бездушность глыбы, мертвая фольга.

Рука — слоновой кости. В стройной шее
на алебастре высвечены вены —
лиловый плющ, что в извести увяз.

Ты вся из камня. И всего страшнее,
в тебя влюбившись, осознать мгновенно,
что это сердце тверже, чем алмаз.

(*Перевод В. Резниченко*).

Любопытно отметить, что Камоэнс пишет о металлической фольге, которую обычно подкладывали под кристаллы граната. Делалось это для усиления блеска камня.

Итак, гранатам в древней поэзии не везло. Бируни цитирует всего два четверостишия, в которых они упоминаются [5, с. 79].

Глаза мерцают, словно влажный виноград.
Молю: взгляни! Других ненадобно наград.
Ресницы так притягивают сердце,
Как не влечет к себе соломинку гранат.

(*Перевод С. Ахметова*).

Стихи эти написал Мансур, кади (судья) Герата, который жил в первой половине XI в. Последние две строчки требуют пояснения. Дело в том, что Бируни, а вслед за ним и другие средневековые ученые считали, что крупные кристаллы граната притягивают соломинки и птичий пух. Это не противоречит современным представлениям о способности некоторых минералов электризоваться при трении. Плиний Старший, описывая свойства граната, также отмечает: «Говорят, что он, будучи разгорячен Солнцем или натерт пальцами, притягивает мелкую солому и листочки бумаги» [5, с. 304].

Второе рубаи написал средневековый арабский поэт ас-Санаубари. Оно понятно без комментариев:

Посмотри: дугою льется охлажденное вино,
Словно жертвенная кровь, шипит и пенится оно,
Влажный блеск его родился в самом сердце самоцветов,
Не вино — гранат расплавленный с водою заодно!

(Перевод С. Ахметова).

Вначале гранатам не везло и в прозе. «Книга тысячи и одной ночи» «наполнена» драгоценностями. Однако гранаты в ней не упоминаются.

Вот Ала ад-Дин спускается в подземелье и обнаруживает сад. Ошеломленный юноша «стоял среди деревьев, уставившись на них, и любовался этими диковинками, исполнившись удивления, ибо он видел, что деревья вместо съедобных плодов несут на себе драгоценные камни, отнимающие у человека рассудок,— жемчуга, изумруды, алмазы, яхонты, топазы и другие ценные самоцветы, повергающие умы в смятение» [14, с. 371].

Вот Али-Баба «перешел в комнату драгоценных камней и самоцветов, и была она больше и чудесней всех, ибо вмещала столько жемчуга и дорогих камней, что количества их не определить и не счесть, будь то яхонты, изумруды, бирюза и топазы. Что же касается жемчуга, то его были там кучи, а сердолик виднелся рядом с кораллом...» [14, с. 422].

Вот корабль Синдбада-морехода разбивается о гору, и он оказывается на большом острове. Посреди острова течет ручей. Далее Синдбад-мореход рассказывает: «И увидел я посреди этого ручья множество разных драгоценных камней, металлов, яхонтов и больших царственных жемчужин, и они лежали как камешки в русле ручья, бежавшего посреди рощи, и все дно ручья сверкало из-за множества металлов и других драгоценностей» [14, с. 223].

Как видим, в списках драгоценностей гранатов нет. Однако это ничего не означает. Под яхонтами, «повергающими умы в смятение», арабы (и не только они!) понимали и рубин, и гранат. Например, в монументальном романе Вольфрама фон Эшенбаха «Парцифаль» [15, с. 374] упомянут камень,

Ярко пылавший, как пламень:
Струилось солнце сквозь него.
Яхонт, гранат зовут его.

Роман написан в первом десятилетии XIII в. Советскому читателю он известен по блистательному переводу Льва Гинзбурга.

Рыцарь Круглого Стола Парцифаль блуждает в поисках священного камня Грааля, который является символом Истины. Ткань повествования как бы расшита драгоценными камнями, в том числе гранатами. Причем самоцветы выступают в разных ролях. Они могут быть ювелирными украшениями [15, с. 456]:

Камешек на кольце был богатым,
Сверкающим гранатом,
Пылавшим средь неимоверной
Кромешной темноты пещерной...

Могут использоваться в качестве облицовочного камня [15, с. 502]:

Но пол, что выложил Клингсор
Дарами всех на свете гор,
Великолепным малахитом,
Гранатом, яшмой, хризолитом,
Любое диво затмевал!..

Они входят в состав знахарских целебных микстур [15, с. 476]:

Чего мы не предпринимали!
Каких врачей не нанимали!
Нам ни карбункул не помог
(Тот, кем владел единорог),
Ни кровь больного пеликана,
Которой смачивалась рана...

Не удивительно, что подобные снадобья не врачевали больных!

Об использовании камней в древней медицине мы еще поговорим в одной из следующих глав. Чтение же «Парцифаля» закончим отрывком, в котором упомянуты самоцветы во всем разнообразии их применения [15, с. 567]:

А каменья, что украшали кровать,
Я бы хотел здесь вам назвать.
Итак, это были: карбункул, агат,
Сапфир, изумруд, аметист, гранат,
Берилл, опал, халцедон, алмаз,
Турмалин, бирюза, рубин, топаз...

...Одни каменья радуют взгляд,
Другие — сердце веселят,
Третьи — с давних времен и поныне
Успешно служат медицине.

Величайший писатель французского Ренессанса Франсуа Рабле был также монахом, врачом, ботаником. Интересовался он и самоцветами. Мог ли Рабле отличить гранат от рубина? Откроем его книгу «Гаргантюа и Пантагрюэль», которая была выпущена в 1564 г. В главах о посещении подземного храма читаем:

«К середине свода было прикреплено чистого золота кольцо, толщиной в кулак; а к кольцу были привязаны три весьма искусно сделанные цепи почти такой же толщины, и на этих цепях, образовавших треугольник, висела круглая высокопробного золота пластина, коей диаметр равнялся не менее чем двум локтям и половине ладони. В этой пластине были высверлены четыре ямки, или же углубления, и в каждое из них плотно вставлен полый шар, выдолбленный внутри и открытый сверху, то есть нечто вроде лампочки, коей окружность равнялась приблизительно двум ладоням, и все эти лампочки были из драгоценных камней: одна из аметиста, другая из ливийского карбункула, третья из опала, четвертая из топаза» [16, с. 696–697].

Отметив, что Рабле не только знает карбункул, но и указывает страну-экспортера, читаем дальше: «На верхушке купола, соответствующей центру фонтана, находились три волчкообразные, лучшей воды, жемчужины одинаковой формы, вместе образовавшие цветок лилии величиной больше ладони. Из чашечки цветка выступал карбункул величиной со страусово яйцо в форме семигранника (природа любит это число), карбункул дивный, изумительный; подняв на него глаза, мы чуть было не ослепли, ибо ни солнечный свет, ни молния не превосходили его яркостью и силой блеска» [16, с. 700].

Александр Дюма-отец, по-видимому, плохо знал драгоценные камни. Иначе бы он не ограничился таким скупым описанием сокровищ, найденных Эдмоном Дантесом на острове Монте-Кристо:

«В сундуке было три отделения.

В первом блистали красноватым отблеском золотые червонцы.

Во втором — уложенные в порядке слитки, не обделанные, обладавшие только весом и ценностью золота.

Наконец, в третьем отделении, наполненном до половины, Эдмон погрузил руки в груду алмазов, жемчугов, рубинов, которые, падая друг на друга сверкающим водопадом, стучали, подобно граду, бьющему в стекла» [17, т. 8, с. 194].

Дюма лишь процитировал «Книгу тысячи и одной ночи». Как и в арабских сказках, гранатов в его романе нет.

Позже, когда писатели научились отличать гранат от рубина и шпинели, он занял прочное место в литературе. Но и тут не обошлось без казусов.

Откроем черный восьмитомник Конан Дойля на рассказе «Голубой карбункул». Герой рассказа Питерсон нашел в зобу рождественского гуся «ярко сверкающий голубой камень чуть поменьше горошины. Камень был такой чистой воды, что светился на темной ладони, точно электрическая искра.

Холмс присвистнул и опустился на кушетку.

— Честное слово, Питерсон, вы нашли сокровище! Надеюсь, вы понимаете, что это такое?

— Алмаз, сэр! Драгоценный камень! Он режет стекло, словно масло!

— Не просто драгоценный камень — это тот самый камень, который...

— Неужели это голубой карбункул графини Моркар?» [18, т. 1, с. 406].

Последнее восклицание издал доктор Уотсон.

Весь диалог настораживает. Питерсон определил камень как алмаз. Он руководствовался его твердостью — «режет стекло, словно масло». Ни рубин, ни топаз, ни тем более гранат такой твердостью не обладают. Они царапают стекло, но не режут его. Доктор Уотсон называет камень голубым карбункулом, т. е. гранатом. Но голубой цвет гранатам противопоказан. В природе нет и не может быть голубых карбункулов.

Однако читаем дальше:

«Холмс взял камень и стал рассматривать его на свет.

— Славный камешек! — сказал он.— Взгляните, как он сверкает и искрится. Как и всякий драгоценный камень, он притягивает к себе преступников, словно магнит. Вот уж подлинно ловушка сатаны. В больших старых камнях каждая грань может рассказать о каком-нибудь кровавом злодеянии. Этому камню нет еще и двадцати

лет. Его нашли на берегу реки Амой, в Южном Китае, и замечателен он тем, что имеет все свойства карбункула, кроме одного: он не рубиново-красный, а голубой. Несмотря на его молодость, с ним связано множество ужасных историй. Из-за сорока гран кристаллического углерода многих ограбили, кого-то облили серной кислотой, было два убийства и одно самоубийство. Кто бы сказал, что такая красивая безделушка ведет людей в тюрьму и па виселицу!» [18, т. 1, с. 409].

Слова Холмса о связи драгоценных камней с преступностью сомнений не вызывают. Здесь он специалист. А вот дальше великий сыщик начинает городить чушь. Вначале он говорит о карбункуле как о гранате (рубиново-красный цвет), а потом называет его состав: кристаллический углерод. Как мы знаем, в гранате нет и следов углерода. Кристаллическим углеродом может быть или графит, или алмаз. Следовательно, Холмс обнаруживает свою неосведомленность в минералогии.

Более того, в Южном Китае нет и никогда не было реки Амой! Уж не мистифицирует ли нас знаменитый сыщик?

Холмс, конечно, не виноват. За все его подвиги и ошибки должен отвечать Артур Конан Дойль. По-видимому, знаменитый писатель плохо разбирался в драгоценных камнях. Его богатое воображение придумало и голубой карбункул, и р. Амой, и многое другое.

Скорее всего, путаница с углеродной природой граната возникла из-за слова «карбункул» — уголек. Название мифической реки произошло от португальской колонии Аомынь в Юго-Восточном Китае, а имя графини Моркар есть переделка европейского названия этой колонии — Макао. Как известно, Конан Дойль позволял себе придумывать слова, которых нет ни в одном словаре. Он и Холмса заставил заниматься японской борьбой баритсу, о которой самураи и не подозревали [18, т. 2, с. 250].

Другая повесть Конан Дойля — «Знак четырех» — переносит в волшебные подземелья арабских сказок. Как известно, в этой повести раджа разделил свои богатства на две половины: драгоценные металлы и самые дорогие камни. После долгих поисков одну половину клада преступники нашли:

«В свете фонаря заблестели, заиграли драгоценные камни... От их блеска можно было ослепнуть. Насытившись этим великолепным зрелищем, мы выложили драгоценности и стали считать их. Там было девяносто очень красивых изумрудов, сто семьдесят рубинов, правда, много мелких. Еще там было сорок карбункулов, двести десять сапфиров, шестьдесят один агат и несчетное количество бериллов, ониксов, кошачьего глаза, бирюзы, и еще много других камней, чьи названия я тогда не знал» [18, т. 1, с. 252].

В этом перечне важным для нас является порядок упоминания драгоценных камней. Конан Дойль, следуя вкусам своего времени, поставил гранат на четвертом месте — после алмаза, изумруда, рубина.

В русской литературе гранаты упоминаются довольно часто. По сообщению О. Д. Кузнецовой, в стихах поэтов XVIII в. алеют пиропы:

> Где все лишь злато и пироп.
>
> *В. И. Майков. Игрок Ломбера.*

> ...Изумруд, опалы,
> Порфир, лазурь, пирон, кристалл,
> Жемчуг и лал,
> Все, словом, редкости богатыя природы,
> Какими свадебны набиты
> Русски оды.
>
> *И. И. Дмитриев.*
> *Причудница* [*19, с. 139*].

Значительную роль в жизни героя повести И. С. Тургенева «Вешние воды» (1871 г.) сыграл гранатовый крестик, который завалялся среди пожелтевших бумаг. Случайно найденный, он пробудил в душе Санина целый рой воспоминаний; он был символом любви и верности. Вспомним Тургенева:

«Джемма отклонила свое лицо.

— А насчет того, что мама упомянула — помнишь? — о различии нашей веры, то вот!..

Она схватила гранатовый крестик, висевший у нее на шее на тонком шнурке, сильно дернула и оборвала шнурок — и подала ему крестик.

— Если я твоя, так и вера твоя — моя вера!» [20, т. 5, с. 236].

Санину и Джемме не суждено было соединиться. Через много-много лет он подарил гранатовый крестик дочери Джеммы, вделав его в великолепное жемчужное оже-

релье, потому что сам по себе он большой материальной ценности не представлял. Впрочем, об обесценивании гранатов мы поговорим позже.

Увлекался самоцветами Н. С. Лесков. 9 августа 1884 г. он написал письмо М. И. Пыляеву, автору книги «Драгоценные камни, их свойства, местонахождения и употребление», в котором просил указать, «где и что именно я могу прочитать полезное в моих беллетристических целях о камнях вообще и о пиропах в особенности» [19, с. 138]. По-видимому, эта информация требовалась Н. С. Лескову для задуманного рассказа «Александрит». Вот как он описывает пироп: «Венцель на какую-то незаметную линию снял края верхней площадки пиропа, и середина его поднялась капюшоном. Гранат принял в себя свет и заиграл: в нем, в самом деле, горела в огне очарованная капля несгораемой крови» [19, с. 139].

Большими знатоками и ценителями самоцветов были Оскар Уайльд и Александр Куприн.

В одной из поэтичных сказок Уайльда некий Султан показывает Душе Рыбака свои богатства. «Там были большие черепаховые панцири, полные жемчуга, и выдолбленные огромные лунные камни, полные красных рубинов... Там были опалы и сапфиры: опалы в хрустальных чашах, а сапфиры в чашах из нефрита. Зеленые крупные изумруды рядами были разложены на тонких блюдах из слоновой кости... На овальных плоских щитах там были груды карбункулов, иные такого цвета, как вино, другие такого, как трава». Рыбака соблазняют этими богатствами и даже предлагают Перстень Богатства. Но юный Рыбак смеется: «Любовь лучше Богатства!» [21, т. 1, с. 351].

Вполне соглашаясь с мнением Рыбака, отметим, что Уайльд различает гранаты по цвету. Он знает красные пироп и альмандин, зеленые гроссуляр и уваровит. Кроме того, эстетический вкус писателя не позволяет разбросать драгоценности как попало. Для каждой из них он находит достойное вместилище — хрустальные и нефритовые чаши, блюда из слоновой кости. Как бы ликовал Уайльд, если бы узнал об открытии чудесного минерала чароита, уникальное месторождение которого находится в Сибири, на реке Чаре. Кроваво-красные рубины и пиропы великолепно смотрелись бы на фиолетовых чашах!

В романе «Портрет Дориана Грея» писатель показывает распад человеческой личности. Вечно юный Дориан мечется в поисках главной цели жизни. То он ударяется в

религию, то изучает действие различных запахов на человека, то отдается музыке. Затем у него появляется новая страсть: драгоценные камни. Это увлечение длится много лет. Грей собрал огромную коллекцию драгоценных камней. Среди них были и «карбункулы, пламенно-алые, с мерцающими внутри четырехконечными звездочками, огненно-красные венисы» [21, т. 1, с. 154].

Стоп!

Оставим на минуту Дориана, которого все равно не спасти, и сосредоточимся на камнях. Описывая гранаты, Уайльд привел достаточно характерных признаков, чтобы можно было выяснить отличие карбункула от венисы.

Во времена Оскара Уайльда истинными гранатами считались только альмандин и пироп. Огненно-красный пироп был очень моден в XVIII—XIX вв. Красный же цвет альмандина имел фиолетовый оттенок (помните у Бируни: «Не лишен фиалкового оттенка»?). Кроме того, некоторые кристаллы альмандина обладают астеризмом (звездчатостью), т. е. в них на просвет видны звездообразно расположенные светлые полосы. Это явление обусловлено тем, что свет рассеивается тончайшими иглообразными кристалликами другого минерала, находящегося в гранате.

Следовательно, под венисой Уайльд понимал пироп, а карбункулом называл альмандин.

Однако вернемся к Дориану Грею. Обладатель уникального портрета уже разыскивает не только драгоценные камни, но и легенды о них. Он узнает, что, по мнению великого алхимика Пьера де Бонифаса, гранат изгоняет из человека бесов. Он разыскивает в книгах свидетельство, что на шпиле дворца просвитера Иоанна красовались два золотых яблока, а в них два карбункула — для того, чтобы днем сияло золото, а ночью карбункулы. Потом Грей прочитывает странный роман Лоджа «Жемчужина Америки», в котором рассказывается, что в покоях тамошней королевы можно увидеть серебряные изображения всех целомудренных женщин мира, которые глядятся в зеркала из хризолитов, карбункулов, сапфиров и зеленых изумрудов. Следовательно, эти драгоценные камни являются индикаторами женского постоянства [21, т. 1, с. 155].

С захватывающим увлечением Уайльд описывает мир самоцветов. Он сам верит в их таинственную силу и заставляет уверовать читателя.

Через 16 лет после выхода в свет романа «Портрет Дориана Грея» увлечение самоцветами постигло другого писателя — Александра Куприна. 1 октября 1907 г. он сообщает одному из своих корреспондентов: «Теперь роюсь в Библии, Ренане, Веселовском и Пыляеве, потому что пишу не то историческую поэму, не то легенду о любви Соломона к Суламифи... Если тебе что-нибудь понадобится о драгоценных камнях, о древнем туалете и косметике, о роскоши Египта и Тира — обращайся в мою аптечку» [22, т. 5, с. 482—483].

Эта легенда была — «Суламифь», трагическая история любви простой девушки и царя. Куприн настолько полно и детально проработал сведения о драгоценных камнях, что рассказ «Суламифь» может стать пособием для любителей минералогии. Дважды в нем упомянуты гранаты.

Каждый день дарил Соломон своей возлюбленной какую-либо драгоценность. Однажды он «приказал принести из своей сокровищницы драгоценные подвески из глубоко-красных карбункулов, обделанных в виде удлиненных груш. Он сам продел их в уши Суламифи» [22, т. 5, с. 33].

Обратите внимание на то, что во времена Соломона самоцветы не гранили в виде геометрических тел, а придавали им форму какого-либо плода или ягоды.

Во втором отрывке гранат выступает в двух качествах — как драгоценность и как лекарство или талисман.

«Суламифь заслушивалась его, когда он рассказывал ей о внутренней природе камней, о их волшебных свойствах и таинственных значениях.

— Вот анфракс, священный камень земли Офир,— говорил царь.— Он горяч и влажен. Погляди, он красен, как кровь, как вечерняя заря, как распустившийся цвет граната, как густое вино из виноградников энгедских, как твои губы, моя Суламифь, как твои губы утром, после ночи любви. Это камень любви, гнева и крови. На руке человека, томящегося в лихорадке или опьяненного желанием, он становится теплее и горит красным пламенем. Надень его на руку, моя возлюбленная, и ты увидишь, как он загорится. Если его растолочь в порошок и принимать с водой, он дает румянец лицу, успокаивает желудок и веселит душу. Носящий его приобретает власть над людьми. Он врачует сердце, мозг и память. Но при детях не следует его носить, потому что он будит вокруг себя любовные страсти» [22, т. 5, с. 34].

Сравнение граната с кровью, гранатовым цветком, губами — не просто поэтическая метафора. Куприн идет следом за Бируни [5, с. 297], который различал следующие оттенки красного цвета гранатов: гранатовый (цвета зерен плодов граната), шафрановый (цвета тычинок цветов шафрана), пурпурный, багряный, фиалковый (цвета тлеющих углей), цвета пылающих углей, цвета пламени свечи, мясной (цвета кровяной сыворотки), розовый, оранжево-красный (цвета гранатовых лепестков), красный с винным оттенком. Вот какая гамма цветов стоит за обычным, казалось бы, словом — красный!

С течением времени ценность гранатов значительно упала. Упомянутый в Библии, воспетый поэтами, гранат во времена Куприна становится камнем дешевым, мещанским и даже «идиотским», «дурацким». Именно такими эпитетами награжден браслет, украшенный гранатами. Но обратимся к первоисточнику.

«Он (браслет) был золотой, низкопробный, очень толстый, но дутый и с наружной стороны весь сплошь покрытый небольшими старинными, плохо отшлифованными гранатами. Но зато посредине браслета возвышались, окружая какой-то странный маленький зеленый камешек, пять прекрасных гранатов-кабошонов, каждый величиной с горошину. Когда Вера случайным движением удачно повернула браслет перед огнем электрической лампочки, то в них, глубоко под их гладкой яйцевидной поверхностью, вдруг загорелись прелестные густо-красные живые огни.

«Точно кровь!» — подумала с неожиданной тревогой Вера» [22, т. 5, с. 242].

Дешевый гранатовый браслет... Но вспомним Уайльда — любовь лучше богатства! И прочитаем отрывок из последнего письма Желткова княгине Вере:

«Посередине, между большими камнями, Вы увидите один зеленый. Это весьма редкий сорт граната — зеленый гранат. По старинному преданию, сохранившемуся в нашей семье, он имеет свойства сообщать дар предвидения носящим его женщинам и отгоняет от них тяжелые мысли, мужчин же охраняет от насильственной смерти» [22, т. 5, с. 242—243].

Итак, идя по стопам великих писателей, мы проследили историю граната, начиная с эпохи, когда его путали с рубином и шпинелью. Мы видели его расцвет. Мы стали свидетелями низведения граната до положения банального дешевого камня.

Естественно, когда мы говорим: «Дешевый гранат», имеются в виду рядовые камни. Если же самоцвет крупен, прозрачен, замечателен цветом, то это уже далеко не «дурацкий» камень. Его и княгиня с удовольствием наденет.

В очерке «Искры прошлого» [23] А. Е. Ферсман описывает бал-премьеру в московском Большом театре. Собралась знать и купечество. Княгиня Юсупова блистает обнаженными плечами и самоцветами. На ней старые изумруды Колумбии, бриллианты древней Голконды, алмазы из Южной Африки. «Вот эта брошь известна всей Москве. Это гранатовый кабошон из Бирмы или Сиама (Таиланд); вокруг него как-то незаметно вьется струйка из дивных индийских бриллиантов. Говорят, пришлось заложить два имения, продать часть своих фабрик иностранцам, чтобы купить эту замечательную брошь у индийского раджи. Впрочем, что говорить,— много слез и крови скрывается за блестящим огнем самоцветов...»

Ферсман объяснил причину обесценивания гранатов, в частности богемских пиропов. Эти самоцветы были обнаружены в нескольких километрах от Карловых Вар еще в XIII в. Крестьяне находили их прямо на полях в виде зерен и относили в Прагу на продажу. Значение пиропов было настолько велико, что они рассматривались как национальная драгоценность. Именно в этом смысле о чешском гранате писала Марина Цветаева в год начала второй мировой войны [24, с. 356]:

Не умрешь, народ!
Бог тебя хранит!
Сердцем дал — гранат,
Грудью дал — гранит.

Процветай, народ,
Твердый, как скрижаль,
Жаркий, как гранат,
Чистый, как хрусталь.

В XVII в. добычей и огранкой богемских пиропов занимались свыше десяти тысяч рабочих. Доход исчислялся сотнями тысяч золотых рублей в год. Однако рынок есть рынок. Борясь с конкурентами (пиропы нашли в Южной Африке), чешская промышленность вынуждена была понижать цены на гранат. Поэтому самоцветы обрабатывались небрежно, изделия превращались в дешевку.

Такой камень казался слишком обыкновенным, мещанским. Его перестали покупать. К началу XX в. промышленность богемского граната была убита. Пироп вышел из моды [25, т. 2, с. 230].

Неужели и ныне он пребывает в этом качестве? Неужели его огненно-красные кристаллы не воспламеняют более умы людей?

Ответ мы найдем в рассказе Ивана Ефремова, крупного ученого и писателя-фантаста, «Алмазная труба».

«Профессор достал из портфеля камень, который он показывал начальнику главка. Небольшой кусок темной породы был плотен и тяжел. На грубозернистой поверхности скола мелкими каплями сверкали многочисленные кристаллы пиропа — красного граната — и чистой, свежей зеленью отливали включения оливина. Эти кристаллы отчетливо выделялись на светлом голубовато-зеленом фоне массы хромдиопсида. Кое-где сверкали крошечные васильковые огоньки дистена. Порода очаровывала глаз пестрым сочетанием чистых цветов» [26, т. 1, с. 107].

Так поэтично И. А. Ефремов описал грикваит — породу, которая в виде включений находится в кимберлитовых алмазоносных трубках Южной Африки. Находка грикваита в любом месте земного шара является сигналом: здесь ищи алмазы! И вот герои рассказа Ефремова, испытывая невероятные лишения, идут по сибирской тайге, ищут алмазы. И добиваются своего.

«Султанов взглянул на свежий раскол породы — и вздрогнул от радости. Кроваво-красные кристаллики пиропа выступали на пестрой поверхности в смеси с оливковой и голубой зеленью зерен оливина и диопсида.

— Грикваит! — крикнул Султанов» [26, т. 1, с. 120].

Достоверно известно, что рассказ И. А. Ефремова читала геолог Л. А. Попугаева, первооткрывательница кимберлитов Якутии [27, с. 196—197]. Рассказ поразил ее научно обоснованным сравнением Сибири и Южной Африки. Л. А. Попугаева предложила новый метод «пироповой съемки», который заключался в том, что кристаллы пиропа показывают верную дорогу к коренному месторождению алмазов. Вот как описана первая находка кимберлитов: «Пошли по реке. Тщательно осматривали берега и косы. Изредка попадались пиропы. Они лежали прямо на отмелях, одиноко алея среди серости гальки. Примерно через километр сделали привал и начали работу. Опять пиропы и отдельные ильмениты. Пе-

рекусили затирухой, которую приготовил в котелке Федор. И снова за дело. Перед вечером, промывая шлихи, Федор неожиданно обнаружил странный камень. Черные и красные кристаллы в какой-то густой зеленой породе. Понес Попугаевой:

— Что это?

Она взглянула и обомлела. Федор держал на распухшей от холодной воды коричневой ладони заветный минерал...

— Это и есть та главная, коренная порода... Из месторождения,— тихо выдохнула Попугаева» [27, с. 343—344].

Геологи пошли выше по ручью. Близость алмазной трубы придавала им силы. «Лариса оглядывала даль, намечала путь. Ей хотелось пересечь водораздел и выйти к тому краю сопки, чтобы увидеть реку. И вдруг, взглянув под ноги, обомлела. Не поверила своим глазам. Не сон ли это? Попугаева зажмурилась и, боясь пошевелиться, боясь спугнуть то, что увидела у себя под ногами, снова посмотрела вниз. Камень никуда не делся. Вернее, выступ камня. И она тихо вскрикнула:

— Ой! Неужели?.. Федюня-я! Голубая-я гли-и-ина-а!!

Рядом с известняковой плитой из-под мха выглядывал обветренный тысячелетиями кусок зеленовато-голубой породы, весь облепленный сочно-алыми пиропами, бледно-зелеными оливинами и черными точками ильменита...

Попугаева стояла, боясь сдвинуться с места, на таинственной голубой глине, на кимберлите, что родилась миллионы лет назад. Отечественная кимберлитовая трубка!.. Она первой стояла на ней, первой держала в руках загадочную породу, на поиски которой отдано столько сил, средств и жизней.

— Алмаз,— не выкрикнул, а деловито произнес Федор, словно они ему попадались ежедневно.

У него в руке, в разломе ноздреватой голубой глины, среди алых пиропов искристо сверкал в утренних лучах солнца прозрачно-чистый кристалл драгоценного камня. Это произошло 21 августа 1954 года» [27, с. 347—349].

Не правда ли, рассказы И. А. Ефремова и Г. И. Свиридова, один научно-фантастический, другой документальный, похожи до чрезвычайности? Иван Антонович гордился тем, что книжку его рассказов с «Алмазной трубой» таскали геологи в полевых сумках. И вполне закономерно, что через двенадцать лет после написания

рассказа на письменный стол ученого и писателя легли три алмаза из Якутии [26, т. 1, с. 9].

В заключение прочитаем отрывок из воспоминаний об А. С. Грине, написанных вдовой писателя.

«1926 год в Феодосии. Александр Степанович, придя вечером домой, попросил у меня какой-нибудь кусок шелка. Расстелил его на столе под лампой и положил гранатовую брошь.

Тепло густо-красных огней вошло в сердце — как красиво!

— Чудесный это камень,— сказал Александр Степанович.— Я испытываю тихую радость, смотря в красную его глубину. Говорят, кто носит этот камень, того люди любят. Носи, родная, пусть тебя любят. Такой гранат ближе к душе, чем бриллиант.

Вот я и ношу ее более сорока лет. Все потеряла, а она чудом не ушла, стала мне другом-воспоминанием» [28, с. 356].

ГРАНАТОВАЯ ПАЛИТРА

Ранее мы договорились общую формулу граната изображать в виде $A_3B_2(SiO_4)_3$, где вместо «А» можно подставить двухвалентные кальций, магний, железо или марганец, а вместо «В» — трехвалентные алюминий, железо или хром. Мы знаем также, что гранат структурно состоит из томсоновских кубов, октаэдров и тетраэдров.

Предлагаю сыграть в детскую игру «Конструктор». Только это будет гранатовый «Конструктор»: в ящике аккуратно разложены кремнекислородные тетраэдры, октаэдры с алюминием, железом и хромом в центре, крупные кубы Томсона с магнием, кальцием, железом или марганцем в центре. Правила сборки (основной структурный мотив граната) нам известны. Можно приступать к игре.

Наберем горсть строительных «кирпичиков» из магния, алюминия, кремния и сложим из них первый гранат. Он называется пиропом и представляется уже известной формулой $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ [29, с. 200, с. 349].

Название граната происходит от греческого слова пиропос — пламеноподобный. Чистый пироп бесцветен, однако в природе такие кристаллы не найдены. Примесь оксида хрома придает пиропу красный цвет, примесь

оксида марганца — ярко-красный, примесь оксидов хрома и железа — лиловатый. Некоторые кристаллы пиропа изменяют окраску, словно хамелеоны. При солнечном свете они синевато-зеленые, а под светом электрической лампочки становятся лилово-красными. Размеры кристаллов колеблются от долей миллиметра до трех сантиметров. В Средне-Чешских горах найдены кристаллы весом 468,5 и 633,4 карата (размером с голубиное яйцо). Конечно, такие крупные кристаллы необычайно редки.

Выше всего ценятся рубиновые и кроваво-красные пиропы. Чтобы придать коммерческую значительность, их называют капскими рубинами (капрубинами), а также аризонскими, колорадскими, богемскими рубинами. Цены ювелирных пиропов зависят от размеров. Однокаратовый камень стоит 15 долл., пятикаратовый — 100, десятикаратовый — 300 долл. Как видите, увеличение веса в 10 раз приводит к увеличению цены в 20 раз. Для ювелирных камней это обычное явление.

Самым дорогим пиропом является родолит (розовый камень), в котором треть ионов магния замещена железом. Цвет граната розовато-красный, пурпурный. Цена десятикаратовика достигает 750 долл. Крупнейший родолит был найден в США, он весил 43,3 карата. После огранки вес уменьшился до 14 каратов, зато получившееся произведение ювелирного искусства до сих пор остается единственным в своем роде [29, с. 202].

Пироп был одним из самых излюбленных камней старой Руси. Его называли господином всех камней. О нем печатали сообщения в газете: «Любителям редкостей из драгоценных камней дается почтеннейше знать, что у бриллиантщика Новака продается настоящий богемский гранат, превосходящий величиною своею все доселе известные» [25, т. 2, с. 112].

Если в пиропе весь магний заместить железом, то получится новый гранат — альмандин, изображаемый формулой $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ [29, с. 202; 30, с. 351]. Название граната происходит от местности Алабанда в Малой Азии, где обрабатывали камни. В сочинениях Плиния употреблен термин «алабандикус», в средние века искаженный до «алавандин» и «аламандин». Отсюда уже недалеко до альмандина. Некоторые ученые считают, что название граната происходит от арабского слова ал-мазипадж. Так называл некоторые разновидности граната Бируни.

Цвет альмандина красный с фиолетовым оттенком, густо-красный до черного. Различают две разновидности граната — фалум и сериям. Цвет фалума коричневый и темно-красный. У серияма цвет фиолетово-красный и благородный красный с глубоким и чистым оттенком бургундского вина.

В некоторых альмандинах, как уже говорилось, на просвет видны звездообразно расположенные светлые полосы (о них писал О. Уайльд). Такие альмандины называются звездчатыми гранатами.

Альмандин чаще всего кристаллизуется в виде ромбододекаэдров и тетрагонтриоктаэдров. Размеры кристаллов достигают 4—5 см в поперечнике. Альмандин — самый распространенный из ювелирных гранатов и поэтому ценится недорого, от 2 до 30 долл. за карат в зависимости от размеров.

Продолжая игру в гранатовый «Конструктор», заменим в альмандине все железо на марганец. У нас получится новый гранат — спессартин, формула которого представляется в виде $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ [29, с. 203; 30, с. 353]. Название свое он получил по древнему месторождению в Шпессарте (Бавария).

Цвет спессартина медово-желтый, желто-оранжевый, оранжевый с красно-бурым оттенком. Высоко ценятся темно-оранжевые камни, содержащие примесь трехвалентного железа. Наиболее крупный из них в ограненном виде весит 5 каратов. Этот уникальный образец практически бесценен. В Шри Ланка найдены спессартины, которые при дневном освещении кажутся зеленовато-синими, а при искусственном — красными.

Подлинная ценность спессартина заключается в том, что благодаря ему была создана большая группа искусственных гранатов. Они не только превзошли спессартин в ювелирной ценности, но и нашли применение во многих областях науки и техники. Речь о них впереди.

Пироп, альмандин и спессартин благодаря близости размеров ионных радиусов образуют между собой серии твердых растворов. Это дало основание американскому минералогу А. Н. Винчеллу объединить их в одну группу. Он назвал ее пиральспитом — по начальным буквам ПИРопа, АЛЬмандина и СПессартина [7, с. 360]. Окончание же «ИТ» характерно для минералов и горных пород — кальцит, кварцит, гранит.

Что такое твердый раствор?

С обычными растворами мы сталкиваемся в жизни часто. В процессе растворения, например, сахара в чае, соли в воде, молекулы одного вещества равномерно распределяются между молекулами другого. В результате получается «третье вещество», объединившее в себе свойства первых двух: сладкий чай, рассол. Совершенно так же молекулы альмандина могут распределиться между молекулами пиропа. И если первых будет вдвое меньше, чем вторых, то такой смешанный гранат называют родолитом. В общем виде его формулу можно писать так: $2Mg_3Al_2(SiO_4)_3+Fe_3Al_2(SiO_4)_3$. Но это слишком громоздко и неудобно. Значительно проще объединить обе формулы в одну: $Mg_2FeAl_2(SiO_4)_3$.

Раньше мы упрощенно называли родолитом пироп, в котором один из магниев замещен железом. Теперь мы понимаем, что родолит является твердым раствором двух частей пиропа и одной части альмандина.

Оставим на время группу пиральспита и обратимся к не менее интересной группе уграндита. Уграндит: УВАровит, ГРоссуляр, АНДрадит [7, с. 360].

Формула уваровита пишется так: $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$ [29, с. 203; 30, с. 355]. Структурно он составлен из кальциевокислородных кубов Томсона, хромовокислородных октаэдров и кремнекислородных тетраэдров.

Назван уваровит по имени графа С. С. Уварова, президента Российской Академии наук. Д. Н. Мамин-Сибиряк писал по этому поводу, что название придумано в угоду сильному человеку, чтобы подольститься к вельможе и просто вильнуть хвостом за хороший обед, случайную подачку или доставленный лакомому ученому какой-нибудь приятный «случай».

С. С. Уваров — фигура довольно противоречивая. С одной стороны, он положил начало реальному образованию в России, посылал русских ученых в заграничные командировки. Он входил в литературный кружок «Арзамас» вместе с В. А. Жуковским, К. Н. Батюшковым, А. С. Пушкиным, которые выступали за сближение литературного языка с разговорным. С другой стороны, был столпом реакции при Николае I, затруднял доступ к получению образования простым людям. Корыстолюбие, казнокрадство и подлость Уварова заклеймил Пушкин в стихотворении «На выздоровление Лукулла» [31, с. 389]:

А между тем наследник твой,
Как ворон, к мертвечине падкий,
Бледнел и трясся над тобой,
Знобим стяжанья лихорадкой.
Уже скупой его сургуч
Пятнал замки твоей конторы;
И мнил загресть он злата горы
В пыли бумажных куч.

Он мнил: «Теперь уж у вельмож
Не стану нянчить ребятишек;
Я сам вельможа буду тож;
В подвалах, благо, есть излишек.
Теперь мне честность — трын-трава!
Жену обсчитывать не буду
И воровать уже забуду
Казенные дрова!»

Честно́й гранат не может носить имя бесчестного человека! Давно уже его следует называть уралоитом, или уралитом, потому что именно на Урале впервые найдены изумрудно-зеленые кристаллические щетки граната. А пока, делать нечего, придется называть его по сложившейся традиции уваровитом.

Обычные размеры кристаллов уваровита не превышают миллиметра. Лишь однажды на медном руднике в Финляндии был найден огромный кристалл — 1,5 см в поперечнике! Чаще всего уваровит используют в виде декоративных друз, которые весьма оживляют письменные столы и приборы.

Гроссуляром назван гранат, цветом напоминающий ягоды крыжовника, нашего северного винограда (крыжовник по-латински — гроссулария). Формула граната — $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$ [29, с. 204; 30, с. 347]. Чистый гроссуляр бесцветен, поэтому называется лейкогранатом. Зеленый цвет ему придают незначительные примеси трехвалентного железа и хрома. Его называют также пакистанским изумрудом.

Твердый раствор гроссуляра и андрадита обладает медово-желтым цветом. Он похож на драгоценный камень гиацинт, но более мягок, за что и назван гессонитом — слабейшим, худшим (в переводе с греческого). Состав гессонита описывается формулой $Ca_3AlFe(SiO_4)_3$ [29, с. 204].

Самым странным из гроссуляров является гидрогроссуляр, или аризонский жад, или трансваальский жад, по цвету напоминающий жадеит. Странность эта заключается в том, что часть кремнекислородных тетраэдров замещена гидроксогруппой. Мы уже привыкли к тому, что в конструкции граната меняются кубы Томсона и октаэдры. А тут природа уже подменяет и тетраэдры!

Непривычна и формула гидрогроссуляра. В зависимости от количества гидроксогрупп она может быть изображена так: $Ca_3Al_2(SiO_4)_2(OH)_4$ или даже так: $Ca_3Al_2(SiO_4)_{1,5}(OH)_6$. Как видно, один тетраэдр замещается четырьмя гидроксогруппами [7, с. 361].

Памятуя о существовании твердых растворов, следует допустить, что гидрогроссуляры являются смесью гроссуляра с каким-то неизвестным гранатом, полностью лишенным кремнезема. Состав его должен отвечать формуле $Ca_3Al_2(OH)_{12}$ [7, с. 106]. Такое соединение действительно существует. Называется оно длинно — трехкальциевый гидроалюминат. В природе не найдено, но в науке и технике играет довольно значительную роль. Мы еще возвратимся к нему.

Обычно гидрогранаты плотные, непрозрачные. Иногда имеют зеленоватый оттенок. Ювелиры их не гранят, а обрабатывают в виде кабошонов.

Вот мы и добрались до последнего крупного представителя группы природных гранатов — андрадита. Он назван по имени португальского минералога д'Андрада, который в 1800 г. описал одну из разновидностей граната. По составу андрадит отвечает формуле $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$ [29, с. 205; 30, с. 354]. Цвет его желтый, бурый, красный до черного. Ювелирной ценности не представляет. Зато некоторые модификации андрадита котируются очень высоко.

Аспидно-черная разновидность, обогащенная титаном, называется меланитом (от греческого «меланос» — черный). Меланит — излюбленный камень католических монахов. Из него вытачивают четки и другие церковные изделия.

Лимонно-желтая разновидность андрадита, похожая на драгоценный топаз, называется топазолитом. К сожалению, кристаллы его очень мелки и встречаются довольно редко. Цвет медовый, золотистый, желтовато-зеленый.

Наиболее ценным из всех гранатов с ювелирной точки зрения является андрадит с небольшой примесью уваровита. Он имеет яркий травяно-зеленый цвет, а при искусственном освещении обнаруживает необыкновенно красивую игру и яркий блеск, сравнимые с цветовой игрой и блеском алмаза. Поэтому и назван гранат демантоидом — подобным алмазу.

Демантоид чрезвычайно редок, встречается в виде ромбододекаэдров или кристаллов с овальной и округлой формами. Размеры в поперечнике достигают 8—9 мм. Впервые обнаружен на Урале, вместе с изумрудом был основным ювелирным камнем русского экспорта. В начале XX в. за границу вывозили ограненные демантоиды на несколько десятков тысяч рублей. Наиболее крупные из найденных камней весили 29,8 и 50,5 г. Длительное время Урал считался единственным хранилищем ювелирных демантоидов. Но потом мелкие кристаллики их нашли в Италии и на севере Камчатки.

Редкостные ювелирные качества демантоида обусловлены цветом, прозрачностью, твердостью, показателем преломления света и дисперсией.

Последние три термина требуют пояснений.

Твердость минералов есть понятие относительное. Она определяется способностью одного вещества оказывать сопротивление какому-либо механическому воздействию со стороны другого вещества. Мы легко проводим ногтем борозду на поверхности куска мыла. Без особых затруднений подрезаем тот же ноготь стальными ножницами. Следовательно, ноготь тверже мыла и мягче стали. Примерно таким же образом определяется твердость в мире кристаллов.

В 1811 г. немецкий ученый Ф. Моос, много занимавшийся систематизацией минералов по твердости, составил таблицу из десяти минералов: 1. Тальк. 2. Гипс. 3. Кальцит. 4. Флюорит. 5. Апатит. 6. Ортоклаз. 7. Кварц. 8. Топаз. 9. Корунд. 10. Алмаз.

Минералы, входящие в таблицу, называются эталонами твердости, а сама таблица — шкалой твердости Мооса. Каждый минерал таблицы царапает вышестоящий и царапается нижестоящим минералом. Следовательно, самым мягким является тальк (он входит в состав детской присыпки), а самым твердым — алмаз. В природе нет минерала, которым можно поцарапать алмаз. Отсюда и название его — «адамас» (непобедимый). Все минералы с твердостью 7 и выше могут быть драгоценными камнями. Тако-

вы окрашенные разновидности кварца — аметист, цитрин, морион; таковы цветные корунды — рубин и сапфир.

Имея под рукой эталоны из шкалы Мооса, можно легко определить твердость любого минерала. Сделаем это например, для альмандина.

На ромбической грани красного граната осколок алмаза легко оставляет глубокую борозду. Рубином альмандин тоже можно оцарапать, но с большим трудом, и царапина будет неглубокой. Едва заметную царапину на гранате оставит топаз, а кварц бессилен сделать и это. Следовательно, альмандин мягче топаза и тверже кварца, которые в таблице Мооса стоят под номерами 8 и 7. Поэтому твердость альмандина обозначается промежуточным числом 7,5.

Отметим, что твердость ногтя по шкале Мооса равна 2,5, медной проволоки — 3, оконного стекла и кухонного ножа — 5.

Теперь обратимся к показателю преломления света в кристаллах.

Известно, что скорость света зависит от оптической плотности среды. С наибольшей скоростью свет распространяется в космической пустоте или вакууме — около 300 тыс. км/с. В воздухе движению световых частичек — фотонов — мешают молекулы азота, кислорода и углекислого газа. Значит, и скорость света уменьшится. Отношение скорости света в вакууме к скорости света в воздухе называется показателем преломления воздуха. Она выражается числом 1,0001. В воде скорость света будет меньше, следовательно, показатель преломления воды больше — 1,333. В кристаллических веществах свет еще более замедляется. Например, за 1 с он проходит только 125 тыс. км сплошного алмаза. Такой вселенский кристалл и вообразить-то невозможно, тем не менее скорость света в нем определена с большой точностью. Вычислим показатель преломления алмаза, разделив 300 тыс. на 125 тыс. Полученное число 2,4 не является уникальным. Есть минералы с более высоким показателем преломления, например рутил или гематит. Сквозь них свет тащится со скоростью всего 100 тыс. км/с.

У американского писателя-фантаста Б. Шоу есть рассказ под названием «Свет былого» [32, с. 249–259]. Словами не передать боль и лиричность этого произведения. Фантастическая же идея заключается в изобретении так называемого медленного стекла, скорость света в котором необыкновенно мала. Расстояние в полсантиметра свет проходит за десять лет. Попробуйте прикинуть показатель преломления медленного стекла — получится что-то вроде пятерки с пятнадцатью нулями. Что по сравнению с этой астрономической величиной жалкий показатель преломления алмаза — 2,4!

Рассказ Б. Шоу потряс некоторых литературных критиков фантастики. Они решили, что за последние годы это единственное произведение с действительно свежей фантастической идеей.

Не пытаясь умалить достоинств медленного стекла, все же хочется напомнить произведение советского писателя-фантаста А. Р. Беляева «Светопреставление», опубликованное еще в 1929 г. [33, т. 8, с. 7–75]. Это веселый рассказ о том, как наша Земля вошла в полосу какого-то газа, сильно замедляющего скорость света. Показатель преломления света в газе по примерным расчетам равен тройке с девятью нулями. Хоть двигаться сквозь вещество такой плотности довольно затруднительно, Беляев придумал множество забавных ситуаций, связанных с замедлением света. Таким образом, идея вещества с колоссальным показателем преломления света принадлежит советскому фантасту.

Однако неужели для определения показателя преломления вещества нужно узнать скорость света в нем? Ведь это мероприятие достаточно хлопотное и тонкое!

На помощь ученым пришел физик Виллеброрд Снеллиус, профессор Лейденского университета. В 1620 г. он доказал, что луч света, переходя из одной среды в другую, отклоняется от прямолинейного пути. Угол падения света i и угол преломления r связаны соотношением

$$n = \frac{\sin i}{\sin r},$$

где буквой n обозначен показатель преломления света.

Пример преломления света описан Я. И. Перельманом [34, кн. 2, с. 213]: «Посадите товарища за стол так, чтобы он не мог видеть дна стоящей перед ним чашки. На дно ее положите монету, которая, разумеется, будет заслонена стенкой чашки от глаз вашего товарища. Теперь попросите товарища не поворачивать головы и налейте в чашку воды. Произойдет нечто неожиданное: монета сделается для вашего гостя видимой!» Рис. 7 хорошо объяс-

няет причину этого эффекта, обусловленного преломлением света на границе воздух—вода.

С преломлением света связана дисперсия (разложение) светового луча в кристалле.

Еще Ньютон показал, что солнечный свет, проходя сквозь стеклянную призму, распадается на ряд цветных полос, очередность которых школьники запоминают по

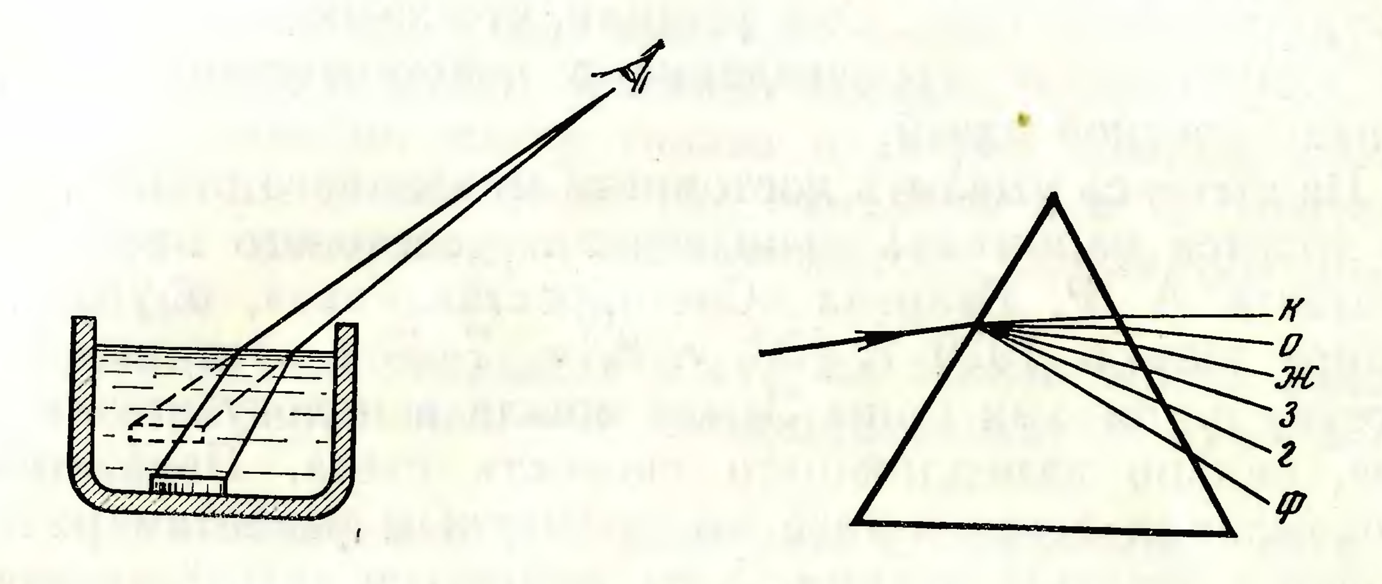


Рис. 7. Схема преломления света в воде

Рис. 8. Дисперсия белого луча света в трехгранной призме; название цвета обозначено начальной буквой

магической формуле: «Каждый охотник желает знать, где сидит фазан». Разложение белого света связано с различным преломлением каждой его составляющей. Меньше всего преломляются красные лучи, больше всего — фиолетовые (рис. 8). Другими словами, показатель преломления кристалла для красного света имеет меньшее значение, а для фиолетового — большее. Так, показатель преломления алмаза в красном свете равен 2,408, а в фиолетовом — 2,452. Разница между этими числами (0,044) и называется дисперсией. Именно величина дисперсии определяет великолепную игру цветов в алмазе. Когда смотришь на бриллиант, кажется будто камень сверкает, горит желтыми и красными огоньками.

Наибольшей дисперсией обладают кристаллы рутила (0,280), наименьшей — кристаллы флюорита и кальцита (0,007).

Теперь, когда мы знаем, что такое твердость, показатель преломления света и дисперсия кристаллов, посмотрим на табл. 1, в которой собраны данные по некоторым физическим свойствам различных гранатов. Таблица еще раз убеждает, что люди не напрасно называют гранаты

драгоценными камнями. Здесь собраны все цвета солнечного спектра, кроме голубого, синего и фиолетового. Это связано с тем, что природа не нашла для гранатов необходимого красителя.

Голубых гранатов не бывает... Однако в фантастическом рассказе «Соискатели» [35, с. 324] читаем: «Они пробежали по длинному коридору и вдруг оказались в большом зале с ребристыми колоннами. Сквозь стеклянную крышу били солнечные лучи, переливаясь в грудах монет. Все помещение заполняло золотое сияние, в воздухе дрожали золотые пылинки. Там и сям лежали кувшины, истекающие дирхемами и динарами. В волнах золотого моря плавал распахнутый сундук, наполненный лалами, яхонтами и гранатами.

— Аллах!..— восхищенно выдохнул кто-то.

— Золото Искандара...

— Да обратится оно в прах,— прошипел атаман.— Нам нужен перстень с голубым гранатом. Только перстень!»

Искушенный читатель понимает, что голубые гранаты могут быть только искусственного происхождения. Поэтому все эти аллахи и атаманы — не более чем мистификация.

В дополнение к табл. 1 назовем еще несколько гранатов, которые теоретически могут существовать, но до сих пор не найдены или найдены в единичных экземплярах: скиагит $Fe_3Fe_2(SiO_4)_3$, кальдерит $Mn_3Fe_2(SiO_4)_3$, блитит $Mn_3Mn_2(SiO_4)_3$, кноррингит $Mg_3Cr_2(SiO_4)_3$, кохарит $Mg_3Fe_2(SiO_4)_3$, голдманит $Ca_3V_2(SiO_4)_3$.

Нам осталось определить относительную ценность ювелирных гранатов по сравнению с другими драгоценными камнями.

Советский ученый Е. Я. Киевленко предложил классификацию ювелирных камней, которой широко пользуются в нашей стране. В таблице Киевленко самоцветы разделяются на четыре порядка [29].

Самоцветами I порядка считаются алмаз, изумруд, рубин и синий сапфир. Цена их изменяется от 500 до 20 тыс. долл. за карат в зависимости от размеров ограненного камня. Самые крупные и прозрачные кристаллы являются национальным достоянием и носят собственные имена, например, алмазы «Шах», «Орлов», которые хранятся в Алмазном фонде СССР. История их исчисляется веками.

Таблица 1

Некоторые физические свойства гранатов

Название граната	Химическая формула	Показатель преломления света	Дисперсия	Твердость по шкале Мооса	Плотность, кг/м³	Размер ячейки, пм	Цвет
Пироп	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	1,705–1,785	0,027	7,0–7,5	3600–3860	1114	Красный, лиловый, оранжевый
Родолит	$Mg_2FeAl_2(SiO_4)_3$	1,760	0,023	7,0	3830–3930	1126	Розовато-красный
Альмандин	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	1,770–1,830	0,024	7,0–7,5	3800–4300	1153	Фиолетово-красный, черный
Спессартин	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	1,795–1,815	0,027	7,0–7,5	4100–4200	1159	Оранжевый с красно-бурым оттенком
Эспессандит	$Mn_2FeAl_2(SiO_4)_3$	1,810	0,026	7,0–7,5	4200	1157	Сочный оранжевый
Уваровит	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	1,850–1,870	—	7,5	3520–3780	1205	Изумрудно-зеленый
Гроссуляр	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	1,738–1,745	0,028	7,0–7,5	3600–3680	1184	Зеленый, желтоватый
Гессонит	$Ca_3AlFe(SiO_4)_3$	1,742–1,748	0,027	7,0	3500–3750	1194	Медово-оранжевый
Плазолит	$Ca_3Al_2(SiO_4)_2(OH)_4$	1,675		7,5	3120	1210	Зеленый, серый
Гибшит	$Ca_3(Al, Fe)_2(SiO_4)_2(OH)_4$	1,681		7,5	3060		Зеленый, серый
Лейкогранат	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	1,735	0,027	7,5	3530	1184	Бесцветный
Андрадит	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	1,895		6,5–7,0	3700–4100	1204	Красный, бурый, желтый
Демантоид	$Ca_3(Fe, Cr)_2(SiO_4)_3$	1,880–1,890	0,057	6,5	3800–3900		Травяно-зеленый
Топазолит	$Ca_3(Fe, Al)_2(SiO_4)_3$	1,840–1,890		6,5–7,0	3750–3850		Медово-желтый
Меланит	$(Ca, Na)_3(Fe, Ti)_2(SiO_4)_3$	1,860–2,010		6,5–7,0			Черный

Александрит, жадеит, цветной сапфир (ярко-оранжевый, желтый, зеленый, фиолетовый), черный опал относятся к драгоценным камням II порядка. Стоимость их составляет 100–3000 долл. за карат. Иногда в них наблюдаются своеобразные оптические эффекты. Например, в лучах солнца александрит кажется зеленым, а при электрическом освещении становится красным. Опал замечателен цветовыми переливами на поверхности (иризацией).

К самоцветам III порядка относятся *демантоид,* белый опал, красная и зеленая шпинель, аквамарин, топаз, *родолит*, лунный камень, красный турмалин. Ограненные самоцветы стоят от 6 до 300 долл. за карат. В ювелирных изделиях крупные камни часто обрамляются мелкими бриллиантами, что создает дополнительный эффект.

Наконец, к драгоценным камням IV порядка принадлежат синий и зеленый турмалин, циркон, желтый, зеленый и розовый берилл, бирюза, хризолит, аметист, хризопраз, *пироп, альмандин,* цитрин. Стоимость камней сравнительно невелика — от 10 до 40 долл. за карат.

Как видно из этих перечней, гранаты относятся к самоцветам III и IV порядков. Однако немногие могут похвастать перстнем с демантоидом или родолитом, потому что ювелирных гранатов добывается в пять раз меньше, чем изумруда, рубина, сапфира, берилла или турмалина.

Для любителей минералов добавим, что Е. Я. Киевленко выделяет еще ювелирно-поделочные и поделочные камни. К первым относятся раухтопаз, гематит (кровавик), янтарь, хрусталь, нефрит, лазурит, малахит, авантюрин, агат, кахалонг, амазонит, иризирующие полевые шпаты. Ко вторым — яшма, окаменелое дерево, флюорит, цветной мрамор и т. п.

ОТКУДА ПОШЛИ И ЕСТЬ ГРАНАТЫ

Земные глубины разогреты до нескольких тысяч градусов. Такие температуры способствуют образованию магмы — огненно-жидкой субстанции, в состав которой входит большинство элементов таблицы Менделеева. Наиболее важную роль играют кислород, кремний, алюминий, железо, магний, кальций, натрий и калий. На долю остальных элементов остается всего 1,4%. Заметим, что из главных элементов магмы можно укомплектовать почти

всякий гранат пиральспитовой или уграндитовой серии.

Испытывая давление со стороны верхних слоев Земли, магма стремится вырваться на поверхность по трещинам или проплавляет себе дорогу среди вмещающих пород [36, с. 44]. Если это удается, то она в грохоте и дыме извергается из вулканов, огненными потоками лавы стекает со склонов. У всех на памяти извержение камчатского вулкана Толбачика, вулканов Италии, Исландии. На поверхности земли лава быстро застывает, образуя вулканические изверженные породы. (Вулкан — бог огня и кузнечного ремесла у древних римлян.)

Магма, не сумевшая вырваться из глубинного плена, остывает значительно медленнее. В этих условиях вырастают довольно крупные кристаллы различных минералов, которые образуют плутонические изверженные породы. (Плутон — бог подземного царства в римской мифологии.)

Образование вулканических и плутонических пород прекрасно описано М. В. Ломоносовым: «Свирепая стихия огня, проникнув в недра земные и встретив противоборствующую себе влагу, ярясь, мутила, трясла, валила и мешала все, что ей упорствовать тщилося своим противодействием. Сгустив и смешав разнородные, знойным своим дыханием возбудила в первобытностях металлов силу притяжательную и их соединила» [25, т. 2, с. 215].

В зависимости от содержания кремнезема изверженные породы называются кислыми (до 70% оксида кремния) или основными (до 40% оксида кремния).

Само собой разумеется, что минералы кристаллизуются из магмы не одновременно. Сначала выпадают тугоплавкие составляющие, затем те, температура плавления которых невысока (1000—700 К). В этом смысле магма подобна молоку. Все многократно видели только что вскипяченное молоко. При остывании на нем образуется пенка — застывшие и всплывшие на поверхность капельки жира. Масло, как известно, застывает значительно раньше молока. Нечто подобное происходит и в магме. Только наверх всплывают более легкоплавкие составляющие. Они обладают большой текучестью и проникающей способностью. Заполнив трещины и другие полости вмещающих пород, они затем застывают, образуя пегматитовые жилы (от греческого «пегма» — скрепление, связь) [36, с. 50]. Размеры кристаллов в пегматитах значительно крупнее, чем в других изверженных породах. Кристаллы кварца,

например, вырастают до 5,5 м в длину и 2,5 м в диаметре, кристаллы берилла — до 6 м в длину, причем масса их при этом доходит до 200 т.

При температуре ниже 700 К в магме остаются вода и растворенные в ней соли. Минералы, кристаллизующиеся из водных растворов, называются гидротермальными [36, с. 70].

Внедрение магмы в земную кору не проходит бесследно. Огнедышащая лава вступает в химическое взаимодействие с различными породами, например с известняками. При этом образуются новые минералы, среди которых может оказаться гранат [37, т. 1, с. 114]:

$$\underset{\text{Компоненты магмы}}{Fe_2O_3 + 3SiO_2} + \underset{\text{Известняк}}{3CaCO_3} = \underset{\text{Андрадит}}{Ca_3Fe_2(SiO_4)_3} + 3CO_2. \quad (1)$$

Минералы, образовавшиеся в результате такого взаимодействия, называются метасоматическими (мета — превращение, сома — тело) [36, с. 54].

И вот магма полностью застыла. Все вулканические и плутонические горные породы, все пегматитовые, гидротермальные и метасоматические минералы образовались. Будут ли они изменяться в дальнейшем? Конечно!

Движения земной коры приводят к образованию зон с громадным внутренним давлением. Близость магматических источников создает высокие температуры. Многие минералы не выдерживают таких критических условий и превращаются в другие минералы, которые называются метаморфическими (морфос — форма) [36, с. 76]. Метаморфизованными вулканическими породами сложен о-в Манхаттан, на котором стоит Нью-Йорк. Одним из главных минералов этих пород являются гранаты.

А что происходит на поверхности Земли?

Солнце, мороз, ветер, вода разрушают горные породы. Температурные перепады дробят, казалось бы, несокрушимые монолиты, вода окатывает обломки и откладывает их в руслах рек, ветер уносит мелкую пыль. Многие устойчивые минералы, обладающие высокой плотностью (золото, платина, алмаз, гранат), собираются в одном месте и даже образуют крупные месторождения, которые называются россыпными [36, с. 87].

Ознакомившись с различными способами образования минералов в природе, вернемся к нашим гранатам. Они широко распространены в земной коре и входят в состав

многих горных пород. Пиральспиты главным образом кристаллизуются при магматических процессах. Альмандин и спессартин часто встречаются в пегматитах. Уграндиты типичны для метасоматических пород. Уваровит может быть и гидротермального происхождения. Наконец, все гранаты найдены в россыпных месторождениях.

Пироп замечателен тем, что образуется рядом с алмазом при вулканических процессах. В первом приближении это выглядит так [38, с. 291]:

Сверкал он, исполненный силы великой,
Громадою пламени многоязыкой.
Казалось, он рос без предела и края,
Пылая и ужас в живое вселяя.

(*Перевод С. Липкина*).

Все понятно. Древний автор «Махабхараты» описывает извержение вулкана.

Предположим, что изливающаяся магма имеет основной (кимберлитовый) состав. Представим далее, что жерло вулкана вдруг заклинило. Давление в кратере возрастает, вулкан дрожит от напряжения. Вот-вот он взорвется, как взорвалась однажды гора Кракатау. Но на этот раз обошлось без трагедии. Стенки кратера выдержали, а в кимберлитовой магме в условиях высоких температур и давлений начал кристаллизоваться алмаз. А вместе с ним — и пироп.

Потом магма затвердела, вулкан успокоился, склоны его покрылись кустарниками и деревьями, заросли травой. Деревья цвели, вымирали, заменялись другими породами. Прошли века... Нет, не века, а миллионы лет. К старому вулкану, превратившемуся в малоприметную сопку, пришли геологи. Они принялись проходить шурф — рыть глубокую яму, чтобы узнать внутреннее содержание сопки. С каждым днем все глубже опускается бадья. Все выше растет куча породы, выбранная из шурфа. Предоставим далее слово И. А. Ефремову:

«На верху кучи вынутой породы кусками лежала какая-то особенная, зернистая и в то же время плотная глина рыжевато-желтого оттенка. Чурилин поспешил поднять расколотый ночью камень. Эта была тяжелая, жирная на ощупь сине-черная порода. Наружный слой камня был мягким и более светлого, синевато-серого оттенка» [26, т. 1, с. 125].

Далее идет описание долгожданной находки алмазов. Опустим его. Нас больше интересуют не алмазы, а вынутая из шурфа порода.

«Значит, эта рыжая глина и есть «иэллоу граунд» — желтая земля африканских копей,— говорил Чурилин,— самая верхняя и вдобавок всегда обогащенная алмазами покрышка алмазной трубы. Несколькими метрами ниже пойдет «синяя земля» — «блю граунд», вот эта самая, черная, куски которой мы нашли в желтой земле. Это менее разрушенная, менее окисленная кимберлитовая порода. А наш еловый холм, без сомнения, оконтуривает границу алмазной трубки» [26, т. 1, с. 126].

Примерно в том же духе, но менее квалифицированно, рассказывает об алмазной трубе лорд Рокстон, герой повести Конан Дойла «Затерянный мир»:

«Вы, наверное, помните тот день, когда мы нашли логово птеродактилей в болоте? Так вот: я смотрел, смотрел на это болото и в конце концов призадумался. Я скажу вам, в чем дело, если вы сами ничего не заметили. Это была вулканическая воронка с синей глиной.

Оба профессора кивнули, подтверждая его слова.

— Такую же вулканическую воронку с синей глиной мне пришлось видеть только раз в жизни — на больших алмазных россыпях в Кимберли. Вы понимаете? Алмазы не выходили у меня из головы. Я соорудил нечто вроде корзинки для защиты от этих зловонных гадов и, вооружившись лопаткой, недурно провел время в их логове. Вот что я извлек оттуда.

Он открыл сигарную коробку, перевернул ее кверху дном и высыпал на стол около тридцати неотшлифованных алмазов величиной от боба до каштана» [18, т. 8, с. 315].

Это, так сказать, беллетристика. А как сложены алмазные трубы на самом деле?

Рассмотрим геологическое строение трубки «Мир», расположенной в Западной Якутии в бассейне р. Вилюя [29, с. 211]. Если содрать верхний слой, то с высоты птичьего полета трубка будет видна как эллипсовидное тело, вытянутое в юго-восточном направлении (рис. 9, *а*). В ядре трубка состоит из зеленой породы — измененного кимберлита (то, что называется «блю граунд»). Ядро окаймлено желтой породой — более сильно измененным кимберлитом («иэллоу граунд»).

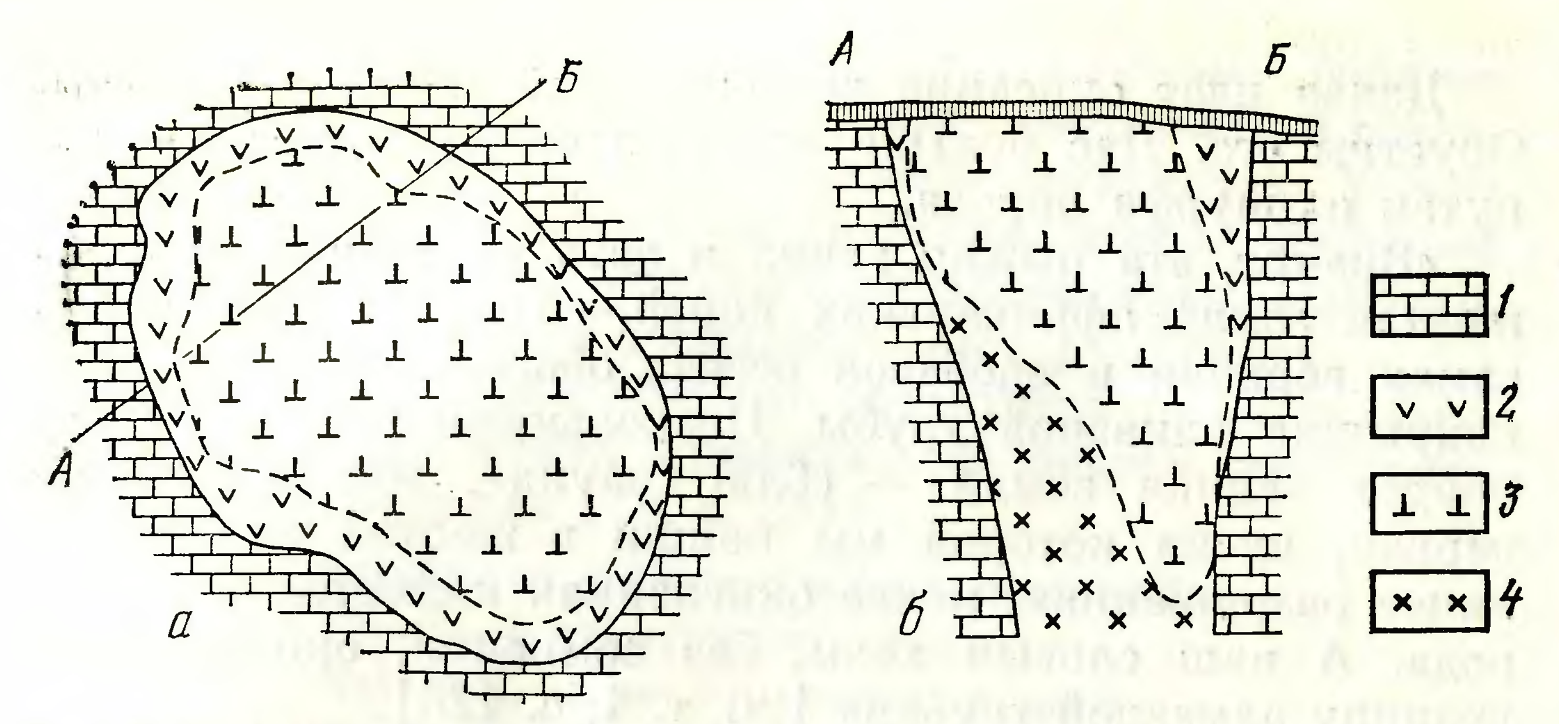


Рис. 9. Схема алмазной трубки «Мир»

а — в плане; *б* — разрез по линии АБ; *1* — известняк, *2* — «иэллоу граунд»; *3* — «блю граунд»; *4* — неизмененный кимберлит (по А. П. Бобриевичу и др.)

Теперь рассечем трубку и взглянем на плоскость разреза (рис. 9, *б*). Под желтой и зеленой землями находится неизмененный кимберлит, который входит глубоко в земную кору наподобие морковки.

Со всех сторон трубка «Мир» окружена известняками. В желтой и зеленой землях кимберлит окислен до глубины 6 м. Нетронутыми остались только кристаллы алмаза, пиропа и циркона. Глубже 20 м кимберлитовая порода сохранилась лучше. Ее надо предварительно измельчить, чтобы извлечь драгоценные камни.

Размеры кристаллов пиропа в трубке «Мир» колеблются в пределах 0,1—2 см. Они густо окрашены в красный цвет с фиолетовым, лиловым, малиновым и оранжевым оттенками.

В трубке «Удачная—Западная» найдены лилово-малиновые пиропы, изменяющие окраску в зависимости от освещения. Днем они лилово-красные, а вечером малиново-красные.

Подобным же образом устроены и другие алмазоносные трубки в Южной Африке («Де-Бирс», «Кимберли», «Премьер»), в США (месторождение Гарнет-Ридж, штат Аризона), в Чехословакии («Лингорка», «Холм Бота» или «Гранатовый холм»). Особенно высоки ювелирные качества чешских пиропов — красных с кровавым или винным оттенком. Они известны с XIII в. и заполнили весь мир. В лучшие годы из чешских трубок добывали по 2,5 т самоцветов [29, с. 210—214].

Из вулканических месторождений альмандина отметим закарпатское и чукотское, сходные между собой. Размеры кристаллов достигают 6 мм, цвет их розовато-бурый, оранжево-бурый, вишнево-красный. Большого практического значения эти месторождения, как и японские, испанские, китайские, американские, не имеют.

Более перспективны пегматитовые и метаморфические породы, содержащие альмандин. Назовем месторождения Форт Врангель и Эли (США, штат Невада), Поко дос Ковалос (Бразилия), Кительское (СССР), Хазарибаг и Аравелли (Индия), о-ва Шри Ланка и Гренландия (побережье залива Диско) [29, с. 220—222].

Редчайшим гранатом, как мы уже знаем, является демантоид. В мире известны всего два месторождения. Оба они находятся на Среднем Урале, оба образовались в результате гидротермальных процессов.

Издавна сысертские мужики мыли золото на р. Бобровке. В 1874 г. среди золотых крупинок они увидели прекрасные золотисто-зеленые прозрачные кристаллы. Крестьяне, живущие вокруг уральских заводов,— люди многоопытные. Они прекрасно разбирались не только в золоте и платине, но и в самоцветах. Искрящие демантоиды не могли не привлечь их внимания. В черных избах на кустарных шлифовальных кругах они огранили первые камни, и слава об уральском демантоиде прогремела на весь мир.

«Малахитовая шкатулка» П. П. Бажова наполнена уральскими самоцветами. Пестрыми огнями играет среди них и демантоид-хризолит: «Старичок есть один. Первейший мастер по огранке и с понятием. Он, видишь, всякие камни берет и после огранки продает, а эти камешки у себя оставляет. Огранит — и в сохранное место. Они,— говорит,—золотоцветню горы родня, их нельзя на пустяковые подвески держать. Хризолитовая особь для большого дела пригодиться может» [39, т. 2, с. 145].

А немного дальше идет гимн Уралу — Каменному Поясу:

«Пояс и есть. Вишь какой! В длину тысячами верст считают, а сколь он широк и насколько в землю врезался, этого никто толком не знает. В поясах по старине, известно, казну держали. Оттого, может, и нашей горе прозванье досталось. Только, понятно, в таком поясе богатства не счесть.

По этому поясу земли, говорят, широкая лента украшения прошла из дорогих камней. Всякие есть, а больше сзелена да ссиня. Изумруды, александриты, аквамарины, аметистики. А по самой середке этой хребтины двойной ряд хризолитов. Видал этот камешек? Помнишь? Он и зеленый и золотистый. Веселый камешек. В сырце и то любо подержать такой на руке. Так весной да солнышком от него и отдает. Мы эти камешки золотоцветняками зовем» [39, т. 2, с. 147].

Уже в советское время А. Е. Ферсман выяснил, что демантоид известен людям со времен глубокой древности. При археологических раскопках в Хамадане (Иран) ученые обнаружили множество золотых и платиновых изделий. Среди них выделялись кристаллы золотисто-зеленого камня, который при исследовании оказался демантоидом. Вполне вероятно, что в Иран самоцветы попали через скифскую страну с Урала. Возможно, «скифский изумруд», упомянутый в манускриптах Ирана, Индии, Греции и Рима, на самом деле является уральским демантоидом [25, т. 2, с. 242].

Однако вернемся к месторождениям златокамня.

Полдневское месторождение состоит из двух участков, расположенных в полукилометре друг от друга. Первый участок высится на берегу р. Хризолитки (надо бы — Гранатки!). Ювелирного граната здесь не было. Выбирались лишь коллекционные образцы для минералогических музеев мира. Второй участок расположен у истока Хризолитки. Здесь старатели вырыли карьер глубиной 15 м и площадью около 180 м². Именно здесь найдены лучшие ювелирные демантоиды, по сияющей игре стоящие выше алмаза [29, с. 223—226].

Другое уральское месторождение — Бобровское — находится в Свердловской области на правом берегу р. Малой Бобровки. Округло-овальные зерна демантоидов достигают в поперечнике 10 мм. Цвет их изменяется от бледного яблочно-зеленого до яркого травяно-зеленого [29, с. 226—227].

Кроме гидротермальных месторождений демантоида на Урале, были и россыпные, протянутые вдоль речных долин.

Всего в 1912—1914 гг. добыто 360 кг кристаллов, которые разошлись по всему миру. Таким образом, в ювелирных качествах самоцвета уральские мужики не ошиблись. А вот назвали его неверно — хризолитом, что переводится с греческого как златокамень. Минералоги же под хризолитом понимают желтовато-зеленую прозрачную разновидность оливина. По сравнению с демантоидом хризолит просто замухрышка, завалящий камешек.

Перед советскими геологами стоит увлекательная задача — открыть новые месторождения демантоида на территории нашей страны. Обнадеживающие результаты получены разведчиками на севере Камчатки и в Армении. За рубежом небольшие проявления демантоида найдены в Республике Заир, в Саксонии (ГДР), на севере Венгрии, в Италии.

ЗАЧЕМ НУЖНЫ ГРАНАТЫ?

Ценность граната определяют не только высокая твердость, алый или изумрудный цвет, но и сравнительная редкость в природе. Вряд ли люди дорожили бы камнем, если бы на каждом шагу спотыкались о гранатовые валуны и глыбы. Камень уникален — следовательно, выдающимся был и человек, увенчанный драгоценностью. Кого в древности почитало племя? Конечно, жреца — идеологического лидера и вождя — лидера военного. Отсюда вытекает одно из первых практических применений самоцветов в качестве предметов религии и культа.

В Индии и Месопотамии верили в магические свойства камней. Самоцветы не только украшали одежду и оружие, но и «защищали» от болезней, опасностей, «дурного глаза». При этом различные камни исцеляли разные болезни, были действенны в различные времена года. В древних индийских книгах описано девять главных камней: алмаз, жемчуг, рубин, сапфир, изумруд, циркон, топаз, кошачий глаз, коралл. В некоторых книгах к ним добавлены оникс, хризоберилл, неведомая нам бхишма, гранат (пулаки) и сердолик. Среди камней различали мужские и женские. Например, о карбункулах Плиний писал: «Мужскими называются те, которые ярче блестят, а женскими, блеск которых слабее» [5, с. 319].

Шумеры и хетты в глазницы каменных богов вставляли огненно-красные гранаты. Ассирийцы словом «абак» называли и драгоценный камень, и глаз. В современном грузинском языке слово «туали» тоже означает глаз и самоцвет [5, с. 319].

В библейской книге «Исход» (гл. 28, ст. 15—20) написано, как сделать эфуд первосвященника. Эфудом древ-

пие иудеи называли наперсник, или нагрудник (нечто вроде «слюнявчика»).

Итак, руководство по изготовлению эфуда: «Сделай наперсник судный искусною работою... из золота, из голубой, пурпуровой и червленой шерсти и из крученого виссона сделай его; он должен быть четырехугольный, двойной, в пядень длиною и в пядень шириною; и вставь в него оправленные камни в четыре ряда; рядом: рубин, топаз, изумруд — это один ряд; второй ряд: карбункул, сапфир, алмаз; третий ряд: яхонт, агат, аметист; четвертый ряд: хризолит, оникс и яспис; в золотых гнездах должны быть вставлены они».

Уже второй раз в Библии упоминаются драгоценные камни. По-видимому, это самые первые минералы, которые выделило человечество из необозримого мира неживой природы.

Всего библейских камней двенадцать. Это число весьма удобно. Во-первых, оно без остатка делится на два, три, четыре и шесть. (Поэтому у древних народов бытовала двенадцатиричная система счисления вместо нашей десятичной. В число двенадцать, в дюжину, был вложен определенный мистический смысл.) Во-вторых, год состоит из двенадцати месяцев. В-третьих, древние израильтяне были поделены на двенадцать колен, или племен. Каждому колену соответствовал свой камень, а выставка их на эфуде первосвященника символизировала верховную власть.

Названия всех камней даны в русском переводе. В греческой Библии многие названия звучат по-иному. А как именовали камни в первоисточнике?

Ниже приводится табл. 2, в которой собраны 12 камней, упомянутые в «Торе», греческой и русской Библиях. Из нее мы узнаем, что самое первое название граната — нофек. Интересно также отметить, что в первых перечнях камней алмаз отсутствует. Это и понятно — на Аравийском п-ове и в Египте месторождений алмаза нет. Позднейших редакторов Библии не могло не удивить замалчивание самого твердого и дорогого камня. И они исправили «ошибку» древних авторов — включили алмаз в список священных камней. Подобные же трансформации произошли с рубином, топазом, сапфиром, яхонтом и бериллом.

Ученых давно занимал вопрос: какие же минералы на самом деле держали в руках древние евреи, называя их

Таблица 2

Древние и современные названия некоторых драгоценных камней

«Тора»		Греческая Библия, 250 г. до н. э.	Русская Библия		Патканов, 1873 г.	Леммлейн, 1963 г.
IX в. до н. э.	XX в. н. э.		1873 г.	1968 г.		
Одем	Рубин	Сардион	Сардий	Рубин	Сердолик	Сердолик
Питда	Топаз	Топазион	Топазий	Топаз	Топаз	Перидот
Берекет	Изумруд	Смарагдос	Смарагд	Изумруд	Изумруд	Изумруд
Нофек	Алмаз	Андракс	Антракс	Карбункул	Рубин, гранат	Гранат
Шаппир	Сапфир	Сапфейрос	Сапфир	Сапфир	Сапфир	Лазурит
Яшфе	Яшма	Яспис	Яспис	Яспис	Яспис	Яшма, нефрит
Лешем	Жиразоль	Лигирион	Лигирий	Яхонт	Гиацинт	Янтарь
Шебо	Бирюза	Ахатес	Ахат	Агат	Агат	Агат
Ахламаг	Аметист	Амедистос	Аметист	Аметист	Аметист	Аметист
Таршиш	Хризолит	Хрисолитос	Хрисолит	Хризолит	Хризолит	Хризолит
Шохам	Берилл	Бериллион	Вириллий	Алмаз	Берилл	Бирюза
Яхалом	Оникс	Онихион	Оникский	Оникс	Оникс	Оникс

экзотическими словами «нофек», «шаппир», «яхалом»?

В 1873 г. К. П. Патканов издал книгу [40], в которой попытался ответить на этот вопрос. В работе он пользовался современными ему минералогическими воззрениями, Библией и «Книгой историй» армянского историка XVII в. Аракела Даврижеци. В предпоследней графе табл. 2 приведены результаты исследований К. П. Патканова. Как мы видим, он ошибся только в четырех случаях.

Окончательное сопоставление древнееврейских и современных минералогических названий «священных» камней сделал крупный советский ученый профессор Г. Г. Леммлейн. В статье, посвященной «Минералогии» Бируни, Леммлейн установил, что питдой иудеи называли не топаз, а перидот, шаппиром — не сапфир, а лазурит (ляпис-лазурь). Под лешемом они понимали не жиразоль (огненный опал), а янтарь [5, с. 320]. Для нас важно еще одно подтверждение, что термины «нофек», «антракс», «карбункул» и «гранат» являются синонимами. Значит, действительно гранаты известны людям около 30 веков!

Наши предки обожествляли природу. Магическими свойствами наделяли они и самоцветы. Они думали, что если пить растертый гранат, то успокоятся желудочные боли, появится бодрость. Человек же, носящий на себе пироп или альмандин, верховодит людьми. Считалось, что камни имеют таинственную силу защищать, вызывать расположение. Крестоносцы, шедшие «освобождать» гроб господень, носили в перстне гранат как защиту против ядов и ранений.

В Троице-Сергиевой лавре хранится множество драгоценностей. Среди них выделяются драгоценные зеленые гранаты, хризолиты-демантоиды. Многие вещи украшены различными индийскими гранатами. Есть и «червчатый» яхонт, под которым надо понимать альмандин превосходного вишневого цвета, проникший в Древнюю Русь с Цейлона. Есть и бечета, один из любимейших камней XVI—XVII вв. Этот гранат ценился как талисман, который «сердце обвеселит, кручину и неподобные мысли отгоняет, разум и честь умножает» [25, т. 2, с. 78].

А. С. Пушкин был убежден, что его поэтический дар зависит от перстня с зеленым самоцветом, подарка графини Воронцовой. Не будет перстня — угаснет вдохновение. К нему поэт обращался со стихотворением «Храни меня, мой талисман» [31, с. 218].

Перстень не сберег поэта... Умирая, он оставил его В. И. Далю, автору «Толкового словаря». Затем перстень пропал. И мы никогда не узнаем, действительно ли в него был вставлен изумруд, или это был изумрудно-зеленый гранат.

В средние века алхимики и астрологи пытались вывести зависимость между датами рождения людей, определенными созвездиями, планетами и камнями. Их, видимо, вдохновляло то, что количество месяцев в году, зодиакальных созвездий и библейских камней выражается «священной» дюжиной. Правда, 12 планет они набрать не смогли. В те времена были известны только Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн и Луна. Тогда астрологи, подобно нерадивым школьникам, решили «подогнать под ответ». Каждую планету они сосчитали дважды, прибавили к ним Солнце и получили искомую дюжину. Гранату соответствовали Марс и созвездие Скорпиона [6, с. 140].

Бируни решительно выступал против наличия какой-либо связи между небесными светилами и камнями. Иронически отзывался он о вере в целительные свойства минералов. Считалось, например, что толченый алмаз является ядом. Бируни истер в порошок несколько крупных алмазов и дал вместе с водой собаке. Псина не почувствовала даже слабого недомогания. Этот опыт произвел большое впечатление на современников [5, с. 85].

Одно из существенных применений драгоценных камней заключалось в изготовлении печатей. Каждый знатный античный грек или римлянин имел такую печать, которой оттискивал на воске свое имя или какую-либо символическую фигуру. Изображения на камнях вырезались глубокие, они давали выпуклые горельефные оттиски. Сама печать имела форму кабошона. С появлением бумаги печати стали делать с плоской поверхностью. В качестве красящего материала использовали краску или копоть от свечи. Основным материалом для печатей служил сердолик. Однако довольно часто использовали оникс, яшму, лазурит, гематит, кварц, гранат (альмандин). Камни вставляли в перстни или укрепляли в специальные металлические брелоки, которые носили на поясе вместе с ключами [5, с. 384; 6, с. 99].

И все-таки главное применение гранатов — ювелирные изделия. Чтобы выявить красоту камня, чистоту его воды, радужную игру световых лучей, мастера-гранильщики придают ему различные геометрические формы.

Впервые драгоценные камни начал гранить житель г. Брюгге Луи де Беркен (1456 г.). Он работал при дворце герцога Бургундии Карла Смелого и нашел различные формы огранки. А в 1600 г. парижским мастерам удалось огранить алмаз. Граненый алмаз назвали бриллиантом (от французского brillant — сверкающий). Через несколько десятилетий центрами огранки самоцветов стали Антверпен и Амстердам.

Чтобы лучше представить бриллиантовую огранку, обратимся к рис. 10. Верхняя часть камня называется лицевой стороной, или коронкой, нижняя часть — тыльной стороной, или павильоном. Коронка и павильон соприкасаются по рундисту. Коронка состоит из 33 граней: площадки, верхних клиньев, основных граней, надрундистных граней. Павильон включает 24 грани: нижние и основные. Итого в бриллианте 57 граней. Возможны и отклонения от этого числа, связанные с размером камня.

Причина огненной игры бриллианта ясна из рис. 11. Луч света, попадая в камень, изменяет свое направление (в этом повинен показатель преломления) и разлагается на спектр (что зависит от дисперсии). Фиолетовые лучи уходят в сторону или поглощаются оправой. Красные лучи попадают прямо в глаза наблюдателю [41, с. 144]. Игра демантоида превосходит игру бриллианта, поскольку его дисперсия намного больше.

Кроме бриллиантовой, гранильщики придумали множество других видов огранки: каре (квадратная), багет (прямоугольная), панделок и челночек (рис. 12). Одним из древнейших видов огранки камня является кабошон. Он имеет плоское основание и яйцевидную верхнюю часть. В виде кабошона гранят пироп, альмандин, спессартин, гессонит. Если камень темный, то с нижней стороны кабошона удаляют часть материала по вогнутому профилю. Из альмандина и гессонита вырезают также камеи.

Какова же технология огранки?

Сначала с помощью диска, армированного алмазами, из самоцвета выпиливают заготовку. Затем на карборундовых кругах производят предварительную шлифовку (подбивку). В результате этой операции камень обретает нужную форму и размеры. Заготовки слегка нагревают паяльной лампой и с помощью сургуча или шеллака наклеивают на специальные шпильки-кичи. Далее при помощи квадранта, обеспечивающего точную установку заготовки и выдерживающего заданные углы между граня-

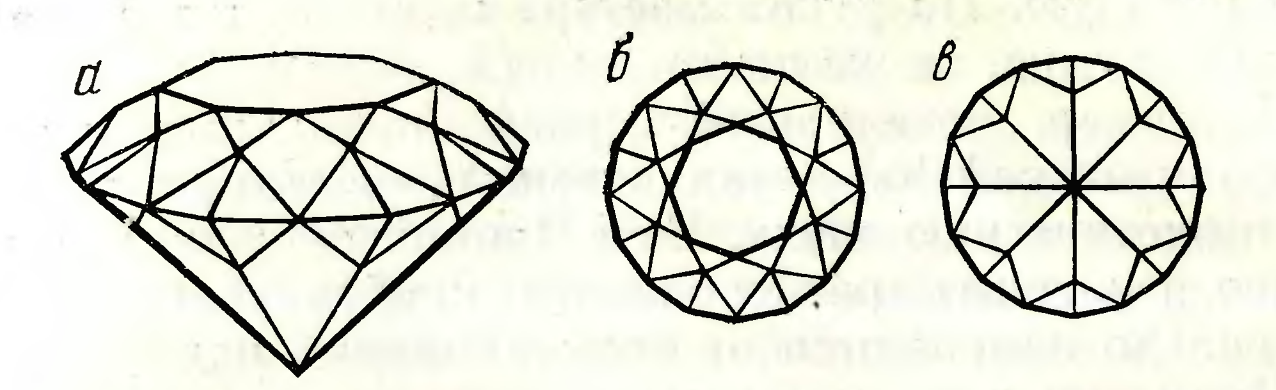


Рис. 10. Бриллиантовая огранка

а — общий вид;
б — вид сверху;
в — вид снизу

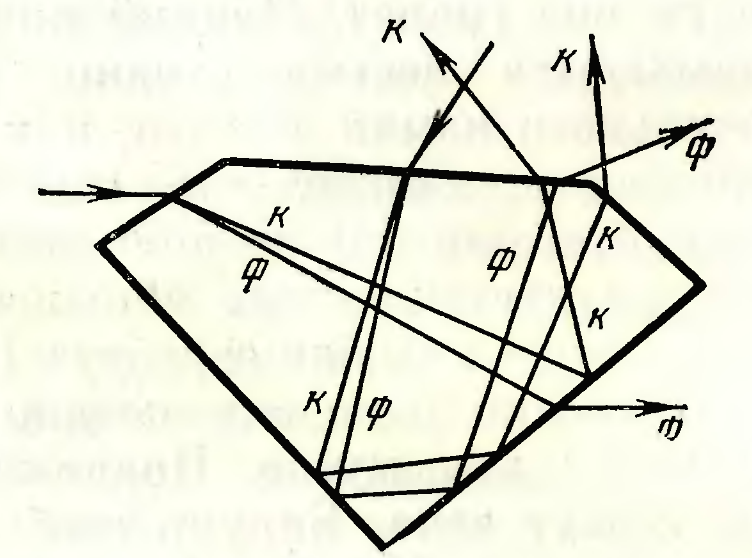


Рис. 11. Преломление и разложение света в бриллианте

к — красные лучи;
ф — фиолетовые

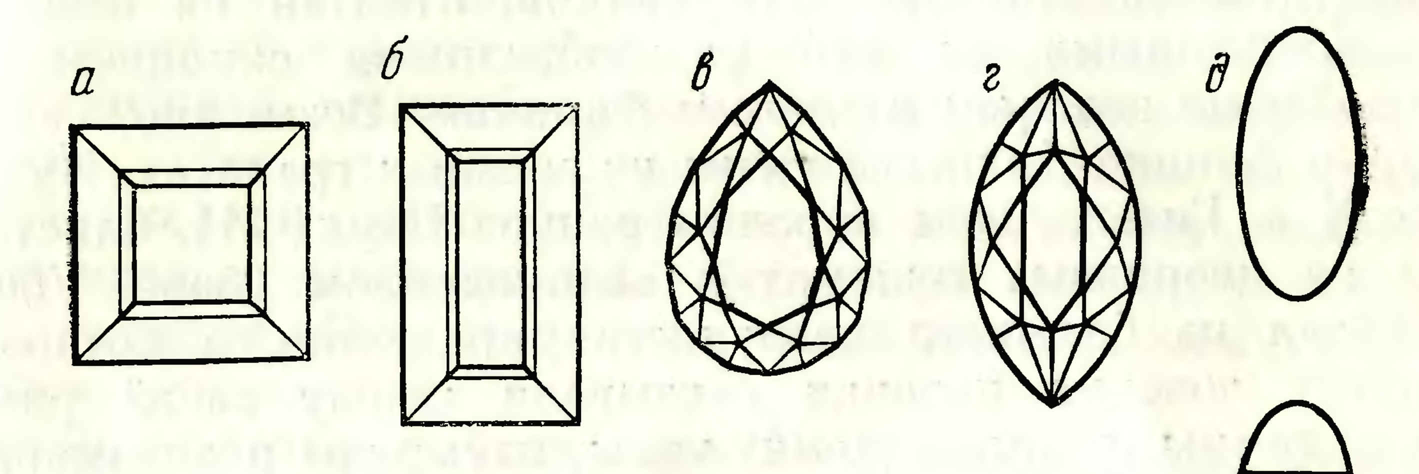


Рис. 12. Виды огранки ювелирных гранатов

а — каре; *б* — багет; *в* — панделок; *г* — челночек; *д* — кабошон (вид сверху и сбоку)

ми, производят шлифовку и полировку. В качестве абразивов используют карборундовые и алмазные диски, различные порошки. В заключение — спиртовая купель, и новорожденный самоцвет готов радовать людей.

Основными центрами огранки самоцветов в Советском Союзе являются Москва, Свердловск, Смоленск. За рубежом гранильное дело развито в Нидерландах, Швейцарии, Израиле, США, ФРГ.

Принципиально сегодняшний и тысячелетней давности процессы огранки одинаковы. Разве что сейчас шлифовальные диски вращает электричество, а раньше это де-

лали вручную. Но рукой мастера водит та же фантазия, та же выдумка, та же любовь к самоцветам.

Например, ювелирный прием подкладывания под прозрачный камень металлической пластинки появился в эллинистическую эпоху. Еще Плиний сетовал, что очень трудно различить разновидности карбункулов, так как они сильно изменяются от подкладывания под них фольги. Примерно в то же время появились стеклянные подделки под гранат. Плиний пишет, что «карбункулы подделываются весьма сходно, но узнаются посредством точильного камня так же, как и другие поддельные драгоценности, потому что вещество их мягче и хрупко. Узнаются они также по пленкам внутри и по тяжести, которая у стеклянных меньшая; а иногда по пузырькам, светящимся подобно серебру» [5, с. 377].

Подделки рано или поздно обнаруживаются и отбрасываются как мусор. Подлинные камни или легенды о них живут века. Бируни сообщает, что у одного из Хосроев (шахов Ирана) была пальма, отлитая из золота, с нанизанными на ней разнообразными самоцветами, подобными зеленым и спелым финикам. Возможно, некоторые финики были выточены из зеленых гранатов. В том же X в. Гизела, дочь короля франков Карла III, блистала на дворцовых приемах в великолепном уборе. Убор состоял из большого нагрудного украшения, в котором тонкие золотые цепочки связывали между собой римские геммы и камеи, жемчужины, изумруды и аквамарины. Шею охватывало ожерелье из топазов, в уши были вдеты гранатовые серьги с подвесками. Убор Гизелы длительное время хранился в Берлине, а во время второй мировой войны пропал [6, с. 104].

В римской церкви св. Марка гордятся золотым покрывалом со вшитыми в него драгоценными камнями. Здесь более тысячи жемчужин, рубинов, сапфиров, гранатов, изумрудов. Покрывало было начато в 976 г., дополнено в 1105—1205 гг. и реставрировано в 1343 г.

Трон Великих Моголов, правивших в средние века в Индии, был выкован из золота. Его украшали алмазы, изумруды, огненные яхонты, лалы и гранаты. В 1739 г. иранский шах Надир разгромил столицу Великих Моголов Джахан-Абад и вывез все сокровища. Для того чтобы навьючить трон, потребовалось восемь верблюдов [42, т. 2, с. 73].

В эпоху Ренессанса интерес к драгоценным камням достиг кульминации. Украшали себя не только женщины, но и мужчины. Каждая деталь туалета отделывалась самоцветами. Больше всего ценились сапфир, рубин, изумруд, затем гранаты и берилл. Интерес к алмазу возник позже, когда его научились шлифовать и гранить. Посмотрите на портреты высокородных князей, графов, маркизов эпохи Возрождения. Это подлинный парад драгоценностей, блеск и переливы света!

Впрочем, предоставим слово мастеру словесного портрета:

«На нем был изумительной красоты наряд... и носил он его с неподражаемым изяществом. Наряд этот представлял собой черный на алой подкладке бархатный плащ, по рукавам которого вилась вышитая розовой ниткой большая ветка: на ее украшенных золотом стеблях горели изумрудные листья, а среди них сверкали рубиновые и сапфировые розы, по одиннадцати штук на каждом рукаве; петли плаща, похожие на старинный орден французских королей, были расшиты струящейся узорчатой строчкой, наподобие цветов дрока, обрамленных жемчугом; одна его пола целиком была заткана золотым изображением лучистого солнечного диска... Эту роскошную одежду дополнял алый бархатный тюрбан, в складки которого была вплетена великолепная жемчужная нить».

Вы, конечно, узнали перо Александра Дюма. Описание костюма герцога взято из романа «Изабелла Баварская» [17, т. 5, с. 12].

Не менее красочно описывает убор царицы Ирины, жены царя Федора Иоанновича, епископ Элассонский Арсений. Он присутствовал на приеме в январе 1598 г. в Золотой палате Кремля. Епископ восторженно писал: «На царицу нельзя было смотреть без удивления, так великолепен и прекрасен был вообще ее царский наряд. На голове она имела ослепительного блеска корону, которая составлена была искусно из драгоценных каменьев и жемчугами была разделена на 12 равных башенок, по числу 12 апостолов. Это был собственно венец с зубцами. В короне находилось множество карбункулов, алмазов, топазов и круглых жемчугов, а кругом она была унизана большими аметистами и сапфирами. Кроме того, с обеих сторон ниспадали тройные длинные цепи, которые были составлены из столь драгоценных каменьев и

покрыты круглыми, столь большими блестящими изумрудами, что их достоинство и ценность были выше всякой оценки» [25, т. 2, с. 62].

Искусные ювелиры и гранильщики могут изготовить не только перстень, кулон или ожерелье. Они могут воспроизвести букет цветов, фонтаны, капли росы, насекомых. А в нашей стране они сделали географическую карту из драгоценных камней.

Вот что писали в начале 1937 г. газеты [43, с. 41—42]:

«В старинном корпусе Свердловской гранильной фабрики низко склонились над станками ветераны гранильного дела, опытнейшие мастера. Они с увлечением работают над созданием чудесной карты...

Под искусными руками гранильщиков оживают, сверкая гранями, рубины, альмандины, аметисты, изумруды, топазы, аквамарины, золотистый и дымчатый горный хрусталь. Ложатся на столы выточенные из этих драгоценных камней сотни треугольников, квадратов, эллипсов, ромбов, прямоугольников. Территория СССР будет выложена на карте богатой оттенками яшмой, нежно-розовым родонитом и светло-зеленым амазонским шпатом. Карта займет около восемнадцати квадратных метров...

Тысячи камней будут сверкать на карте всеми цветами радуги. Старейшие мастера Воронов, Фролов, Боровской, Нехорошков, Китаев, Овчинников, Зверев, Ожгибесов вкладывают в гранение камней все свое умение...

Огромная тончайшая работа! Каждый рубин обтачивается на трех дисках и получает 57 граней. Сейчас уже готовы 2500 камней. Осталось обточить еще около 1200 камней».

Ограненные камни были переданы лучшим ювелирам и художникам Ленинграда, которые, словно мозаичную картину, сложили огромную карту нашей страны.

Карта получилась впечатляющей. Голубыми огоньками аквамаринов обозначен Северный морской путь. Предприятия нефтяной промышленности обозначены сотнями камней дымчатого хрусталя. На местах электростанций зажжены темно-вишневые альмандиновые треугольники. Яркими рубинами круглой формы отмечены металлургические заводы, рубинами в форме эллипсов — заводы цветной металлургии, рубиновыми треугольниками — машиностроительные заводы. И снова вспыхивают на карте ограненные гранаты-альмандины. Предприятия

химии — альмандиновые ромбы. Донбасс, Кузбасс и другие угольные бассейны — альмандиновые квадраты.

Карта демонстрировалась на Всемирной парижской выставке в мае 1937 г. Она показала масштабы строительства в нашей стране и стала примером активной пропаганды новых социальных идей.

В последующие годы карта непрерывно пополнялась новыми данными и ныне находится в Эрмитаже.

О сокровищах Эрмитажа можно рассказывать часами. Здесь хранятся табакерки, осыпанные драгоценными камнями. Различные самоцветы, в том числе и вениса (альмандин), сверкают на более чем десяти тысячах перстней и колец. Около 20 тыс. гемм поражают высоким искусством исполнения. Здесь есть и камеи — камни с выпуклым резным изображением, есть интальо — камни с врезанными в их глубину картинками. Из гранатов для исполнения гемм применялись богемский пироп и альмандины, излюбленные камни античной эпохи и Ренессанса.

Среди драгоценностей особого исторического и художественного значения в Эрмитаже хранится поставец для духов в виде слона — работа немецких мастеров XVII в. Сам слон выполнен из дерева, бивни костяные, зубы — изумрудные, в глазах — розовые рубины, кончиком хобота схвачен аметист. Спина слона покрыта попоной золоченого серебра с серебряными разводами. Попона оконтурена бирюзой и крошечными альмандинами, с концов попоны свисает жемчуг. Центральная часть украшена крупными самоцветами — четыре кабошона из бирюзы и альмандин. Слон несет на спине подставку, осыпанную изумрудами, альмандинами, висящим жемчугом. И уже на этой подставке покоится поставец для духов. Он осыпан изумрудами, бриллиантами, альмандинами и аметистами. Хвост слона кокетливо повязан пятью бантами, в которые вставлены бирюза и альмандины [42, т. 2, с. 94].

В другом крупнейшем музее СССР — Алмазном фонде — хранятся драгоценные камни, которыми богата наша страна. Вместе с историческими самоцветами здесь выставлены голубые аквамарины из Сибири, александриты, топазы и аметисты Урала. Почетное место среди них занимают уральские гранаты-демантоиды, по цвету и качеству не имеющие равных в мире. Особенно хочется отметить подвеску-кулон с неправдоподобно громадным демантоидом весом 192 карата (данные Ферсмана)

[44, с. 95]. Кулон имеет правильную овальную форму. Демантоид окружен тридцатью одним бриллиантом, как король придворными.

Из других мировых шедевров упомянем букет австрийской императрицы Марии-Терезии, хранящийся в Венском историческом музее. Букет изготовил Михаэль Гроссер в 1760 г. из 1500 самоцветов граната, аметиста, изумруда, топаза, турмалина, опала, лазурита, яшмы, нефрита и алмаза. Высота каменного букета цветов 32 см, поперечник — 22 см [6, с. 128].

Драгоценный гранат служит эквивалентом валюты. Изделия ювелирного искусства на мировом рынке котируются наравне с золотом и другими драгоценными металлами.

Благодаря своей твердости гранат может использоваться как абразивный материал. Из него изготавливают гранатовую бумагу и тонкий порошок, которыми шлифуют кожу, твердые породы дерева, зеркальные стекла и т. п. Гранаты находят также применение в точном приборостроении и других отраслях новой техники. А ученым структура природного граната подсказала возможность существования целого ряда соединений, без которых современное общество уже не может обойтись. Но об этом — в следующих главах.

СОПЕРНИЧАЯ С ПРИРОДОЙ

В 1878 г. Фуко и Мишель-Леви смоделировали природный вулканический процесс [37, т. 1, с. 113]. Они взяли девять частей нефелина[1], добавили в него одну часть авгита, тщательно перемешали и расплавили в тигле. После медленного охлаждения печи они извлекли содержимое тигля — довольно темный на вид сплав. Мишель-Леви был хорошим минералогом. Именно он составил цветную таблицу для определения силы двойного лучепреломления в кристаллах, которой исследователи пользуются до сих пор. Буквально за несколько минут он изучил сплав под микроскопом и с радостью убедился, что весь авгит исчез. Вместо него в массе зерен нефелина появились октаэдры шпинели и округлые черные кристаллы неизвестного минерала. Этот неизвестный оказался меланитом, черной разновидностью андрадита! Излюбленным камнем католических монахов!

[1] В дальнейшем нефелину предстоит стать героем целой главы в металлургии. Героем, который спасет человечество от алюминиевого голода.

Через пять лет А. Горго воспроизвел в лаборатории природный гидротермальный процесс [37, т. 1, с. 122]. Он расплавил белую глину с избытком хлористого марганца в парах воды, насыщенных водородом. После охлаждения в сплаве засверкали прозрачные желтые кристаллы, которые имели форму икоситетраэдров (двадцатичетырехгранников).

Давайте определим, что это за кристаллы.

В состав белой глины входят оксиды калия, алюминия, кремния. Из хлорида в расплав попал марганец. Какой гранат можно построить из этих компонентов? Правильно, спессартин. А икоситетраэдрами называли раньше тетрагонтриоктаэдры.

Итак, полный успех. Без больших затруднений за какие-нибудь пять лет получены два граната — андрадит и спессартин. Еще небольшое усилие — и все француженки будут осыпаны рукодельными самоцветами.

Однако где-то что-то заело. Гранаты упорно не хотели расти, а те, что росли, были весьма малы. Ими можно было любоваться только под микроскопом.

В конце 30-х годов американец Е. П. Флинт [37, т. 1, с. 113] получил андрадит, но кристаллы опять оказались очень мелкими.

Одновременно ученый заинтересовался гидрогроссулярами. Вспомним, что так называются гранаты, имеющие промежуточный состав между гроссуляром $Ca_3Al_2\cdot(SiO_4)_3$ и трехкальциевым гидроалюминатом $Ca_3Al_2\cdot(OH)_{12}$. В толстостенных бомбах была получена вся серия гидрогранатов, общая формула которых имеет такой вид: $Ca_3Al_2\ (SiO_4)_n(OH)_{12-n}$, где вместо n следует подставить любое число (целое или дробное) от нуля до трех.

В том же плодотворном году Флинт синтезировал всю серию гидроандрадитов от $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$ до $Ca_3Fe_2\ (OH)_{12}$ с общей формулой $Ca_3Fe_2(SiO_4)_n\ (OH)_{12-n}$ [37, с. 128].

Любопытно отметить, что не только состав гидрогранатов промежуточен между конечными членами ряда. Многие их свойства также промежуточны. Например, показатель преломления света в гидрогроссулярах зако-

номерно понижается от 1,735 до 1,605, а плотность уменьшается от 3530 до 2520 кг/м³. Ювелирного значения искусственные гидрогранаты по крайней малости размеров не имеют. Зато их роль в производстве алюминия весьма значительна. Об этом мы поговорим позже.

Во время второй мировой войны и сразу после нее работы по синтезу гранатов не велись. 50-е годы увенчались синтезом уваровита сразу в нескольких лабораториях. Методика синтеза настолько проста [37, т. 1, с. 125], что этот изумрудно-зеленый гранат может получить дома каждый.

Возьмите 33,6 г гашеной извести, 30,4 г оксида хрома и 36,0 г оксида кремния. Тщательно перемешайте порошки в фарфоровом стакане и поставьте его в муфельную печь, на электрическую или газовую плитку (способ нагрева роли не играет, результат всюду один). Прокаливайте смесь примерно месяц. Полученный уваровит охладите до комнатной температуры.

Вот и все.

Вы стали обладателями прекрасных кристаллов размерами до 0,01 мм. Остается утешать себя, что более крупных кристаллов уваровита не получили и ученые, несмотря на их степени, звания и заслуги.

Покончив с уграндитами и спессартином, полководцы научных армий обратили честолюбивые взоры на оставшиеся твердыни. На одной крепости кроваво-красными буквами было высечено: «Пироп», на другой цитадели — «Альмандин». Для их покорения требовались осадные машины, создающие давление до 3 ГПа и температуру до 1300 К. Но даже заполучив их, полководцы не сразу добились успеха. Это оказалось гораздо сложнее штурма Карфагена или Измаила.

Наконец, после многолетней кропотливой работы крепости пали. В 1955 г. американцы Л. Кос и Х. С. Йодер опубликовали победные реляции. Для получения альмандина Л. Кос использовал каолин, кремнезем и хлориды железа [37, т. 1, с. 108]. При синтезе пиропа последняя соль заменялась хлоридом магния. Йодер шел несколько иным путем. Подобно Флинту, он сначала выплавлял стекла альмандинового и кремнеземистого состава, а уж к ним добавлял щавелевокислое железо и глинозем. Йодер высказал также предположение, что пироп может быть выращен при давлении до 100 кПа. Однако сам в этом не преуспел [37, т. 1, с. 119].

Сейчас пироп и альмандин получаются довольно легко на аппаратуре, предназначенной для выращивания искусственного алмаза. Размеры гранатов приличные, из них вполне можно огранить ювелирный камень. Однако цена его настолько велика, что даже миллионеры предпочтут съездить в Индию и купить природный гранат на восточном базаре.

Можно считать, что в соперничестве с природой человек проиграл.

Но работы по выращиванию и исследованию гранатов продолжались. Йодер еще раз синтезировал гроссуляр из любимого материала — стекла [37, т. 1, с. 115]. Д. М. Рой и Р. Рой уточнили состав и свойства кристаллов в ряду гидрогроссуляров [37, т. 1, с. 130]. Кристоф-Мишель-Леви вырастила спессартин и гроссуляр [37, т. 1, с. 115, 122]. Л. Кос вырастил андрадит [37, т. 1, с. 113]. И опять Йодер... И опять Кристоф-Мишель-Леви... На гранатовую рыбку была заброшена такая широкая сеть с такими мелкими ячейками, что она не могла не попасться. И она попалась!

В 1951 г. вездесущий Йодер в содружестве с М. Л. Кейтом совершил открытие, последствия которого до сих пор не могут быть полностью оценены из-за их грандиозности. Однако расскажем все по порядку.

С помощью химического анализа в спессартине некоторых месторождений был обнаружен иттрий. Иттрий — это металл, занимающий 39-ю клетку в таблице Д. И. Менделеева. В природе он сравнительно редок, по отдельным свойствам напоминает скандий и лантан. Иттрий трехвалентен, как алюминий, в сложных соединениях собирает вокруг себя восемь атомов кислорода, как и марганец (т. е. образует строительные «кирпичики» в виде томсоновских кубов).

Ученые не сразу поняли, как входит иттрий в состав спессартина. Действительно, вместо марганца его поставить нельзя, потому что остается лишняя валентность. А других кубов Томсона в спессартине нет — только алюминиевые октаэдры и кремниевые тетраэдры. Однако природа и тут извернулась. Размеры иона алюминия позволяют ему входить не только в октаэдр, но и в тетраэдр. Поэтому в спессартине возможно двойное замещение: часть марганца подменяется иттрием, а часть кремния — алюминием. Не остается в этом случае и лишних валентностей.

Общую формулу иттрийсодержащего спессартина можно записать в виде $(Mn, Y)_3Al_2[(Si, Al)O_4]_3$.

Вспомним, что любой сложный гранат является твердым раствором двух или более конечных членов. Следовательно, заменив в формуле спессартина весь марганец на иттрий, а весь кремний на алюминий, мы можем получить другой, противоположный спессартину, конечный член ряда. Формула будет выглядеть так: $Y_3Al_2(AlO_4)_3$.

Гранат ли это? Безусловно. Он построен, как и все гранаты, из кубов Томсона, октаэдров и тетраэдров. Его кристаллы имеют форму тетрагонтриоктаэдров и ромбододекаэдров. По некоторым свойствам он даже превосходит лучшие гранаты. Твердость его равна 8,5 (между топазом и рубином), показатель преломления света в кристаллах составляет 1,835 (больше, чем у многих гранатов), дисперсия – 0,026, плотность – 4550 кг/м³ [45].

Свое детище Х. С. Йодер и М. Л. Кейт с полным правом назвали иттрогранатом. Однако в мировой научной литературе это название не привилось. С непонятным упорством все исследователи называют новое соединение очень длинно – иттриево-алюминиевый гранат. Если оставить только инициалы, то получится более удобная для записи форма – ИАГ. Так мы и будем именовать его в дальнейшем.

Для синтеза спессартина, ИАГа и промежуточных членов ряда Йодер и Кейт использовали оксиды кремния, алюминия, иттрия и карбонат марганца. Как обычно, они сплавляли порошки в стекло, измельчали его и выдерживали при температурах 1350–2450 К, а затем резко охлаждали. ИАГ кристаллизовался в виде мельчайших зерен. При ярком освещении они представляли красивое зрелище – блеск и переливы света. Не зря такие порошки впоследствии назвали «diamond air», алмазным воздухом. К сожалению, для огранки воздух, даже алмазный, не годится.

Проблема выращивания крупных кристаллов граната оставалась нерешенной.

В конце 50-х годов гидрогранатами заинтересовались советские исследователи. С самого начала их мало трогали размеры кристаллов.

Трехкальциевый гидроалюминат и некоторые гидрогроссуляры с малым содержанием кремнезема были выращены в Ленинграде, Москве, Новосибирске, Алма-Ате, Киеве [46–48]. Потом настал черед трехкальциевого гидроферрита и гидроандрадитов – достижение алма-атинских ученых [49].

Для выращивания гидрогранатов казахстанские ученые моделировали природный гидротермальный процесс. Опыты проводили в небольших стальных автоклавах, в которые загружали соответствующие оксиды и водный раствор щелочи. Температура процесса не превышала 560 К.

Пойманные гидрогранаты исследовали в физических лабораториях. Их облучали инфракрасными и рентгеновскими лучами, бомбардировали электронами, нагревали до 1500 К. В конечном счете они не выдерживали и раскрывали некоторые тайны природы [47–49].

Одним из достижений казахстанской школы является синтез трехмагниевого гидроалюмината $Mg_3Al_2(OH)_{16}$ [50]. Размеры его кристаллов едва достигают тысячной доли миллиметра, но не в величине суть. По всем данным соединение представляло собой последний член ряда, в начале которого стоит пироп. А следовательно, должны существовать и промежуточные члены – гидропиропы с общей формулой $Mg_3Al_2(SiO_4)_n(OH)_{12-n}$. Из громадного числа гидропиропов были выращены всего два, а именно те, в которых n равнялось половине и единице [51, 52]. Но и этого оказалось достаточно для использования гидропиропов в промышленности.

Интересно отметить, что при нагревании до 1300 К гидропиропы теряют воду и превращаются в оксид магния, шпинель и пироп. Так казахстанские ученые доказали, что для образования пиропа вовсе не нужны миллиарды паскалей давления. Предсказание Х. С. Йодера сбылось.

ГРАНАТЫ, КОТОРЫЕ «ЕДЯТ» КРЕМНЕЗЕМ

Первое месторождение бокситов открыто близ французского города Бо в 1821 г. [53, с. 18]. Способ производства алюминия из них был примитивен и непроизводителен. За 35 лет во всем цивилизованном мире выплавлено всего 200 т алюминия. А между тем новый металл отличался невиданной легкостью и прочностью. Начали искать другие способы разложения бокситов. В 1889–1892 гг. Карл Иосиф Байер, работая на Тенте-

левском заводе в Санкт-Петербурге (ныне завод «Красный химик») и на Елабужском заводе, нашел способ извлечения глинозема из бокситов [53, с. 139]. Благодаря ему производство алюминия начало разрастаться скоростными темпами. Сейчас оно уступает по тоннажу только выплавке стали и чугуна.

Алюминий стал стратегическим металлом. Без алюминия немыслимы судостроение, авиация, космонавтика. Алюминиевые сплавы используются в строительстве высотных зданий.

Бурная добыча бокситов привела, однако, к повсеместному сокращению их запасов. Подсчитано, что руды едва ли хватит до конца текущего столетия. Дальше — алюминиевый голод.

Между тем алюминия в природе много. В одной из предыдущих глав мы уже говорили, что по распространенности в земной коре элемент занимает третье место — после кислорода и кремния. Алюминий входит в состав многих драгоценных камней — рубина, сапфира, изумруда, шпинели, гранатов. Нефелины, полевые шпаты, алуниты, граниты, обыкновенная глина, наконец,— всюду есть алюминий. Но как извлечь его в чистом виде? Способ Байера непригоден, другие способы дороги и громоздки. Ситуация напоминает один из юмористических рассказов Стивена Ликока: герой умирает от голода на груде консервных банок. У него нет ножа, чтобы вскрыть их.

Такой консервный нож для вскрытия алюминийсодержащих пород нашли В. Д. Пономарев и В. С. Сажин. В 1957 г. они опубликовали статью «Гидрохимический щелочной способ переработки нефелиновых пород», в которой изложили идею, подкрепленную опытами [54].

С тех пор прошло четверть века. Идея многократно проверялась и подтверждалась. Ее распространили на многие горные породы, а самому способу, не сговариваясь, дали название — способ Пономарева — Сажина [55—58].

Почему ученые в первую очередь заинтересовались именно нефелином? Потому что месторождения его многочисленны. Потому что все компоненты руды нужны человеку, отходов быть не может. В самом деле, нефелин состоит из оксидов натрия, алюминия и кремния. О необходимости алюминия мы уже знаем. А вот оксид натрия — это щелочь и сода; оксид кремния — это строительные материалы.

Как же разделить нефелин на составные части?

Пономарев и Сажин предложили измельчить нефелиновую породу и загрузить ее в автоклав. Добавить гашеной извести, гидроксида натрия (щелочи), воды и плотно закрыть. Поднять температуру до 560 К (давление паров в автоклаве при этом возрастет до 3—4 МПа). Через некоторое время нефелин разложится. Алюминий перейдет в раствор, а оксиды кальция и кремния свяжутся в нерастворимый натриево-кальциевый гидросиликат (НКГС) [57]. Для любителей химии запишем реакцию разложения нефелина:

$$\underset{\text{Нефелин}}{NaAlSiO_4} + CaO + 2NaOH + H_2O = \underset{\text{НКГС}}{NaCaHSiO_4} + \underset{\text{Алюминат натрия}}{NaAlO_2} + NaOH + H_2O. \quad (2)$$

Исследования показали, что в раствор переходит более 90% алюминия. К сожалению, вместе с ним в растворе оказывается небольшое количество кремнезема (около 4 г на 1 л раствора). Но и его достаточно, чтобы в дальнейшем загрязнить металл. Представим, однако, что каким-то чудом от кремнезема мы избавились. Как будет протекать процесс дальше?

С помощью фильтров отделим НКГС от алюминатного раствора. Перегрузим его в автоклав и зальем обыкновенной водой. После двухчасовой обработки НКГС разложится на щелочь и монокальциевый гидросиликат, который используется в цементном производстве. Таким образом, два первых ценных продукта из нефелина мы уже получили:

$$NaCaHSiO_4 + 2H_2O = CaSiO_3 \cdot H_2O + NaOH + H_2O. \quad (3)$$

Для получения же алюминия необходимо провести ряд промежуточных работ. Вначале из раствора выпариванием осадим алюминат натрия. Потом снова растворим его в воде, добавим для затравки порошок гидроксида алюминия и оставим так на несколько суток (в этом и заключается сущность способа Байера). Алюминат натрия самопроизвольно разложится на гидроксид алюминия и щелочь:

$$NaAlO_2 + 2H_2O = Al(OH)_3 + NaOH. \quad (4)$$

Затем гидроксид отфильтруем и прокалим в огромных горизонтальных трубах (их длина достигает едва ли не

сотни метров). В результате получается порошкообразный корунд:

$$2Al(OH)_3 = Al_2O_3 + 3H_2O. \qquad (5)$$

Корунд сам по себе является товарным продуктом. Он применяется, например, при промышленном синтезе рубина и гранатов, в качестве абразивного материала. А для извлечения алюминия его растворяют в криолите, через который пропускают постоянный электрический ток. При этом у катода собирается расплавленный алюминий, а у анода — кислород. Вот и все. Крылатый металл, как его назвал А. Е. Ферсман, у нас в руках.

По способу Пономарева—Сажина можно разложить не только нефелин. Многочисленные ученики академика В. Д. Пономарева доказали, что способ применим для алунитов, глин, андалузита, серицита, альбита, ортоклаза, сподумена, лейцита, берилла, дистена — все минералы не перечислить. Даже из таких бросовых на первый взгляд материалов, как доменные шлаки и каменноугольные золы, можно извлекать глинозем [55—58]. В сферу производства вовлекаются также бокситы с высоким содержанием кремнезема и железа, которые по способу Байера не разлагаются. Призрак алюминиевого голода перестал страшить человечество.

Да, но как быть с алюминатными растворами, в которых растворен кремнезем? Ведь он не только загрязняет конечный продукт. Он сильно мешает кристаллизации алюмината натрия. Раньше мы просто отписались — кремнезем, мол, каким-то чудом удален из раствора. Чудес не бывает. Обескремнивание алюминатного раствора — теоретически сложная и практически трудноосуществимая задача. Известные способы обескремнивания далеки от совершенства [53, с. 46; 60, с. 130].

И вот в 1962 г. ленинградская ученая О. И. Аракелян публикует статью, в которой описаны различные твердые продукты глиноземного производства [59]. Среди них она выделила трехкальциевый гидроалюминат и гидрогроссуляры, уже известные нам по работам Е. П. Флинта, Д. М. Роя и Р. Роя. О. И. Аракелян высказала мнение, что гидрогранаты могут быть использованы для обескремнивания алюминатных растворов. Оригинальная идея получила подтверждение в работах казахстанцев.

Они вводили в алюминатный раствор трехкальциевый гидроалюминат или оксид кальция и крутили автоклавы

при температурах 350—570 К. После окончания опыта раствор фильтровали и отдавали на химический анализ. Результаты оказались более чем убедительными. Если в начале опыта 1 л алюминатного раствора содержал 4 г кремнезема, то после опыта в нем с трудом обнаружили исчезающе малые количества этого вредного оксида. А в твердой фазе под микроскопом увидели мельчайшие тетрагонтриоктаэдры гидрогроссуляра.

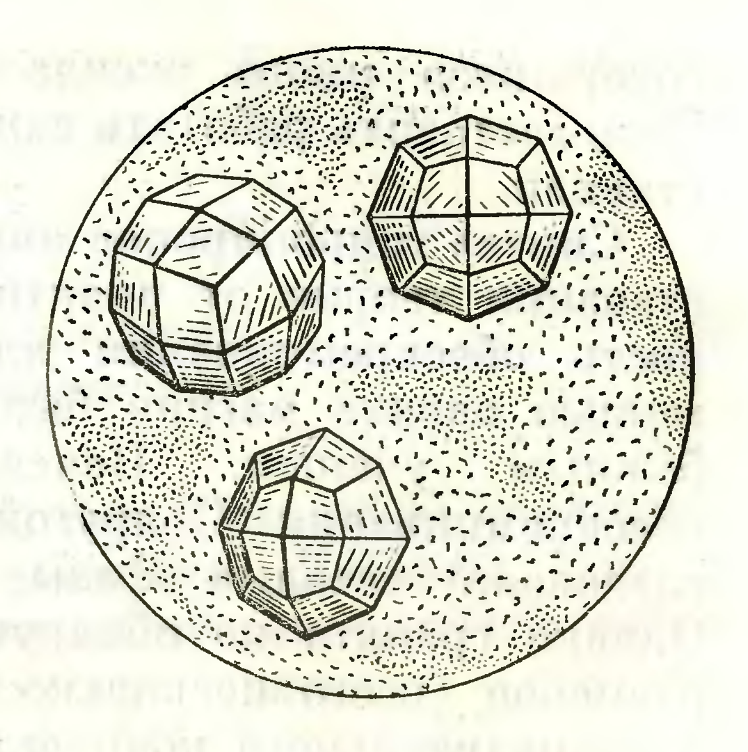


Рис. 13. Тетрагонтриоктаэдры гидрогроссуляра, образовавшиеся при обескремнивании алюминатного раствора (ув. в 300 раз)

Запишем реакцию, которая прошла в автоклаве в гидротермальных условиях:

$$\underbrace{NaAlO_2 + SiO_2 + H_2O}_{\text{Жидкая фаза}} + \underbrace{Ca_3Al_2(OH)_{12}}_{\text{Твердая фаза}} =$$

$$= \underbrace{NaAlO_2 + 3H_2O}_{\text{Жидкая фаза}} + \underbrace{Ca_3Al_2(SiO_4)(OH)_8}_{\text{Твердая фаза}}. \qquad (6)$$

Эта реакция легла в основу изобретения и кандидатской диссертации. Но главное, конечно, заключалось в том, что искусственные гранаты стали приносить ощутимую практическую пользу [47, 48].

На рис. 13 изображены тетрагонтриоктаэдры гидрогроссуляра, увеличенные в 300 раз. Сама микрофотография получилась недостаточно четкой. Поэтому художник наложил на нее кальку и обвел контуры тушью. Не правда ли, удивительно правильные кристаллы растут по гидротермальному способу!

Уже после смерти академика В. Д. Пономарева его ученики доказали возможность другой реакции [60, с. 118]:

$$3NaAlO_2 + SiO_2 + H_2O + 3MgO = NaAlO_2 + 2NaOH + H_2O +$$

$$+ \underbrace{Mg_3Al_2(SiO_4)(OH)_8}_{\text{Гидропирон}}. \qquad (7)$$

Находка способа обескремнивания алюминатных растворов с помощью гидропиропов имела важное значение. Мы уже говорили, что по способу Пономарева—Сажина можно извлекать глинозем из доменных шлаков. А в них

содержится много оксида магния. Что с ним делать? Надо заставить работать даже постороннюю примесь. И заставили.

Синтез гидропиропов является примером нередкого отставания теории от практики. Дело в том, что возможность обескремнивания алюминатных растворов с помощью оксида магния была известна и нашим, и зарубежным ученым. Неясны были только причины обескремнивания С другой стороны, многие ученые исследовали твердые фазы, содержащие оксид магния. Однако граната не обнаружили из-за его весьма малых размеров (всего несколько микрометров в поперечнике!) и незначительного количества [61, 62]. Ситуация неприятная. Практики вслепую обескремнивают алюминатные растворы, теоретики пожимают плечами. И тут проклюнулась мысль: в твердой фазе должен быть гидропироп! Поставили специальные опыты с целью получения большого количества сравнительно крупных кристаллов. Полгода бились в поисках наилучших условий проведения опыта. И вот, наконец, под микроскопом увидели кристаллы, своими формами напоминающие октаэдры и гексаэдры. Исследовали их различными методами и убедились, что это гидропиропы [51, 52, 60]. Теперь все стало ясным. Можно с уверенностью писать формулу (7).

Параллельно с обескремниванием алюминатных растворов казахстанская группа ученых обратила внимание на бокситы, из которых глинозем по способу Байера не извлекался. Это были плохие, грязные бокситы. Они содержали много кремнезема и гидроксидов железа (обыкновенной ржавчины). Их даже не рассматривали как руду. Кремний и железо мешали извлечению глинозема. Кремний и железо... Постойте, постойте! Кремний и железо — это же почти андрадит! Не хватает только оксида кальция. А что если перемешать ржавые бокситы с оксидом кальция, загрузить в автоклавы со щелочным раствором и покрутить при различных температурах? Может быть, в осадок выпадет гидроандрадит, а весь алюминий останется в растворе? Начали пробовать, экспериментировать. Прошло несколько лет, пока нашли нужную температуру, концентрацию щелочного раствора, соотношение исходных компонентов, которые позволили предложить новую схему переработки «плохих» (поставим это слово уже в кавычки) бокситов. От способа Пономарева—Сажина она отличается тем, что при ав-

токлавной обработке образуется не бесцветный НКГС, а желтовато-зеленый гидроандрадит [49, с. 118]:

$$\underset{\text{Минералы боксита}}{Al(OH)_3 + 2FeOOH + SiO_2 + 3CaO + NaOH + H_2O} = \underset{\text{Жидкая фаза}}{NaAlO_2 + 2H_2O} + \underset{\text{Гидроандрадит}}{Ca_3Fe_2(SiO_4)_2(OH)_4}. \quad (8)$$

Все последующие операции новой схемы не отличаются от способа Пономарева—Сажина. Добавим, что в процессе работ был обнаружен гидрогранат, являющийся твердым раствором между гидроандрадитом и гидрогроссуляром (гидрогессонит) [49, с. 111].

Гидрогранатов стало много. Чтобы не запутаться, соберем их в табл. 3, как делали это раньше для природных гранатов.

Кроме всего прочего, табл. 3 отчетливо показывает закономерное изменение различных свойств кристаллов при изменении соотношения кремнезема и гидроксогрупп

Таблица 3

Некоторые физические свойства гидрогранатов

Название	Формула	Показатель преломления	Плотность, кг/м³	Размер ячейки, пм
Гроссуляр	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	1,735	3530	1184
Гидрогроссуляр	$Ca_3Al_2(SiO_4)_2(OH)_4$	1,675	3130	1210
Гидрогроссуляр	$Ca_3Al_2(SiO_4)(OH)_8$	1,630	2780	1235
Гидрогроссуляр	$Ca_3Al_2(SiO_4)_{0,5}(OH)_{10}$	1,620	2630	1247
Трехкальциевый гидроалюминат	$Ca_3Al_2(OH)_{12}$	1,605	2520	1259
Пироп	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	1,705	3510	1144
Гидропироп	$Mg_3Al_2(SiO_4)(OH)_8$	1,590	2660	1211
Гидропироп	$Mg_3Al_2(SiO_4)_{0,5}(OH)_{10}$	1,572	2120	1295
Трехмагниевый гидроалюминат	$Mg_3Al_2(OH)_{16}$	1,515	1560	1513
Андрадит	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	1,895	3830	1204
Гидроандрадит	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_2(OH)_4$	1,790	3370	1228
Гидроандрадит	$Ca_3Fe_2(SiO_4)(OH)_8$	1,753	3120	1250
Трехкальциевый гидроферрит	$Ca_3Fe_2(OH)_{12}$	1,710	2790	1274
Гидрогессонит	$Ca_3Al_{1,4}Fe_{0,6}(SiO_4)(OH)_8$	1,695	3560	1238

в составе гидрограната. Чем больше воды в кристалле, тем меньше его показатель преломления и плотность. Зато размер элементарной ячейки при этом увеличивается.

ИТТРИЕВО-АЛЮМИНИЕВЫЙ ГРАНАТ РАСТЕТ

Изучив свойства кристаллов ИАГ и восхитившись, ученые взялись за их выращивание. Они надеялись, что гранат, рожденный в лаборатории, будет расти охотнее, нежели его природные собратья.

Из всех методов синтеза первым был опробован гидротермальный [63, т. 3, с. 279; 64, с. 52—55]. Опыты проводили в автоклавах, разделенных дырчатыми перегородками на три зоны. В нижнюю зону насыпали порошкообразный оксид иттрия, в средней зоне подвешивали маленький кристалл ИАГ (затравку), а в верхней зоне укладывали куски оксида алюминия (лейкосапфира). Автоклав доверху наполняли водным раствором углекислого калия и плотно завинчивали крышку. Затем нижнюю и верхнюю зоны нагревали до температуры 800, а среднюю зону до 770 К. При этом давление внутри автоклава поднималось до 100 МПа. Оксиды иттрия и алюминия растворялись, перемешивались и конвекционными потоками переносились в среднюю зону. Из-за более низкой температуры раствор здесь оказывался пересыщенным, и молекулы граната высаживались на затравку (рис. 14).

Кристаллы ИАГ в автоклавах росли. Но росли очень медленно — со скоростью около 0,05 мм/сут. Больше месяца следовало ждать, чтобы получить сантиметровый кристалл. Больше месяца днем и ночью надо сидеть у автоклава, не допускать изменений температуры, следить за приборами. Такие черепашьи темпы никого не могли устроить.

Тогда ученые обратились к пегматитовым процессам, в результате которых, как мы помним, вырастают крупные кристаллы.

Методом проб и ошибок из громадного многообразия веществ выбрали три: оксид свинца, фторид свинца и оксид бора. Выяснили, что смесь этих компонентов, взятых в определенной пропорции, плавится при температуре 703 К. Определили, что такой расплав может растворить в себе довольно значительное количество ИАГа

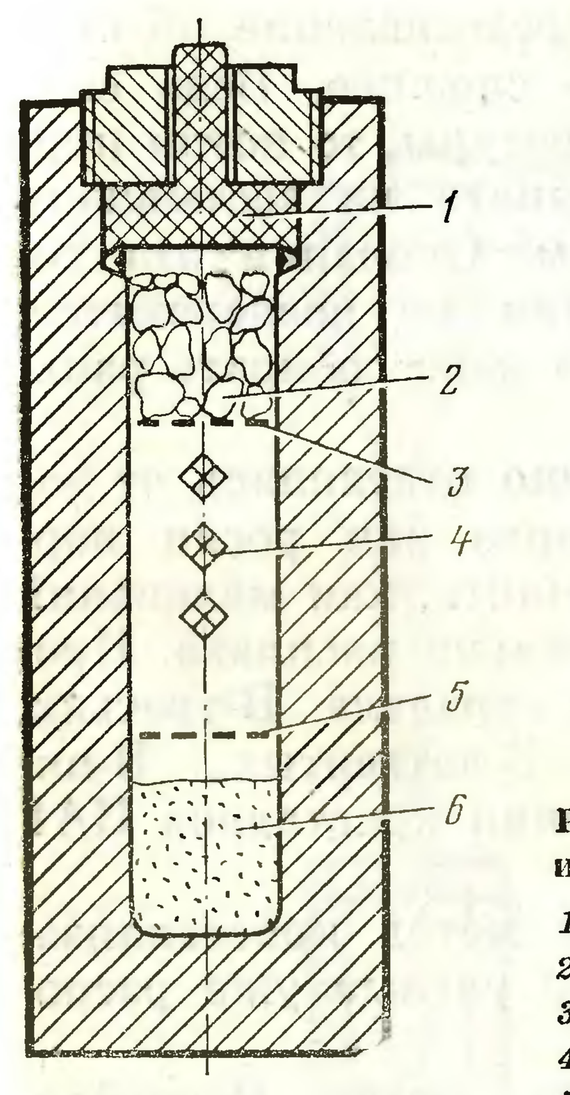


Рис. 14. Схема автоклава для выращивания граната по гидротермальному способу

1 — крышка; 2 — куски корунда; 3 — верхняя диафрагма; 4 — затравочные кристаллы; 5 — нижняя диафрагма; 6 — порошкообразный оксид иттрия

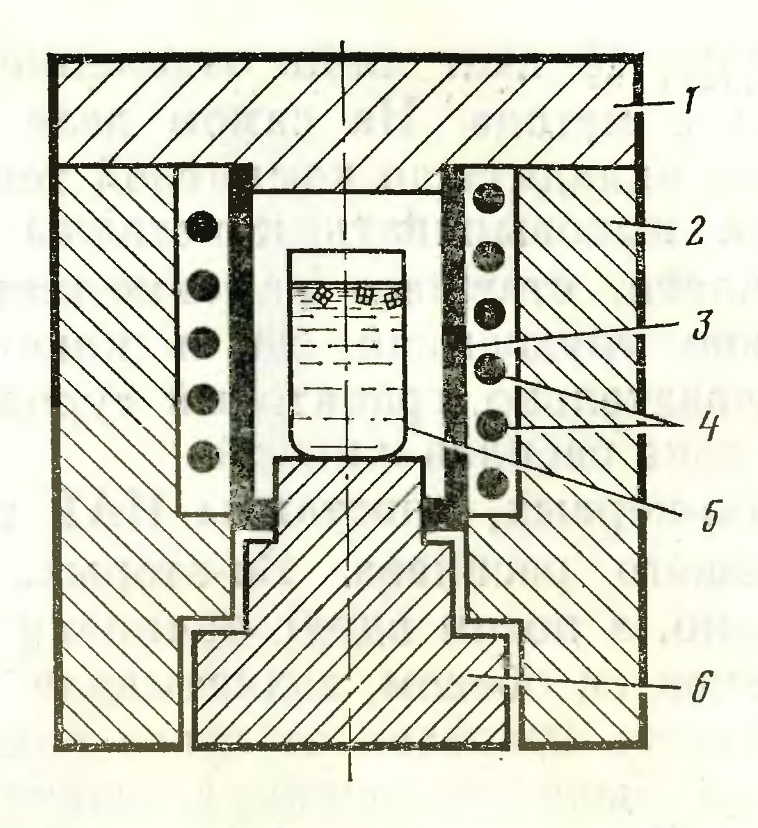


Рис. 15. Схема печи для выращивания граната из раствора в расплаве

1 — крышка;
2 — кристаллизационная печь;
3 — цилиндрический экран;
4 — нагревательные стержни;
5 — тигель с расплавом;
6 — под печи

(до 15%). Попутно узнали, что в расплаве растворяются железо и многие другие металлы, а платина не растворяется. Следовательно, тигель надо делать из нее.

А дальше загрузили в платиновый тигель смесь оксидов иттрия, алюминия, свинца, бора и фторида свинца. Установили тигель в шахтную печь (рис. 15). Подняли температуру до 1700 К. Выдержали расплав некоторое время, чтобы все компоненты хорошенько перемешались. Затем начали медленно охлаждать печь. В какой-то момент расплав оказался пересыщенным по отношению к ИАГ, который всплывал на поверхность (из-за меньшей плотности) и кристаллизовался. Типичный пегматитовый процесс! Однако синтетики не были знакомы с геологией. Они долго думали, как бы назвать описанный метод выращивания кристаллов, и не нашли ничего лучшего следующего заумного сочетания слов: «метод из раствора в расплаве» [63, т. 3, с. 329; 64, с. 19].

Рис. 15 дает лишь отдаленное представление об описанном методе. На самом деле все сложнее. Ведь если печку охладить до комнатной температуры, то потом придется выковыривать кристаллы граната из застывшего расплава, ставшего каменно-твердым. Операция эта довольно трудоемкая, да и кристаллам не поздоровится. Следовательно, гранатовый «урожай» надо собирать раньше, пока расплав жидкий...

Во-первых, кристаллы ИАГ трудно отделялись от застывшего расплава. Во-вторых, сперва они росли нормально, а потом вдруг начинали спешить, как маленький ребенок за обедом, захватывали капельки расплава. Прозрачность гранатов от этого сильно страдала. В-третьих, жалко было драгоценную платину. В-четвертых... В-пятых... В общем от массового получения кристаллов ИАГ по этому способу отказались.

Остался последний, изначальный метод кристаллизации — магматический. Тем более, что ученые уже располагали необходимой аппаратурой.

Вначале попробовали применить метод Вернейля, предложенный еще в 1904 г. для выращивания кристаллов рубина [63, т. 3, с. 352]. Суть метода заключается в том, что смесь тонкоизмельченных оксидов алюминия и хрома просыпают на огнеупорную свечу, омываемую пламенем водородно-кислородной горелки (рис. 16). Порошок на лету плавится, капли попадают на охлаждаемую свечу и застывают в виде були длиной до 50 и диаметром до 2 см. Для рубина этот способ был хорош. Однако кристаллы ИАГ при быстром охлаждении растрескивались. Кроме того, они росли мутными.

Тогда обратились к способу, который придумал чешский ученый Й. Чохральский в 1918 г. [63, т. 3, с. 345; 64, с. 68]. Он вводил в расплавленное вещество охлажденный затравочный кристалл и медленно вытягивал его. Расплав соприкасался с затравкой, охлаждался и застывал (рис. 17).

Методом Чохральского были выращены довольно крупные кристаллы ИАГ. Но вот беда — для удержания расплава подходил только иридиевый тигель. А этот металл дороже и дефицитнее платины. Поиски продолжались.

Ученые чувствовали, что стоят на правильном пути. Рано или поздно крупные кристаллы граната вырастут именно из расплава. Нужна свежая идея...

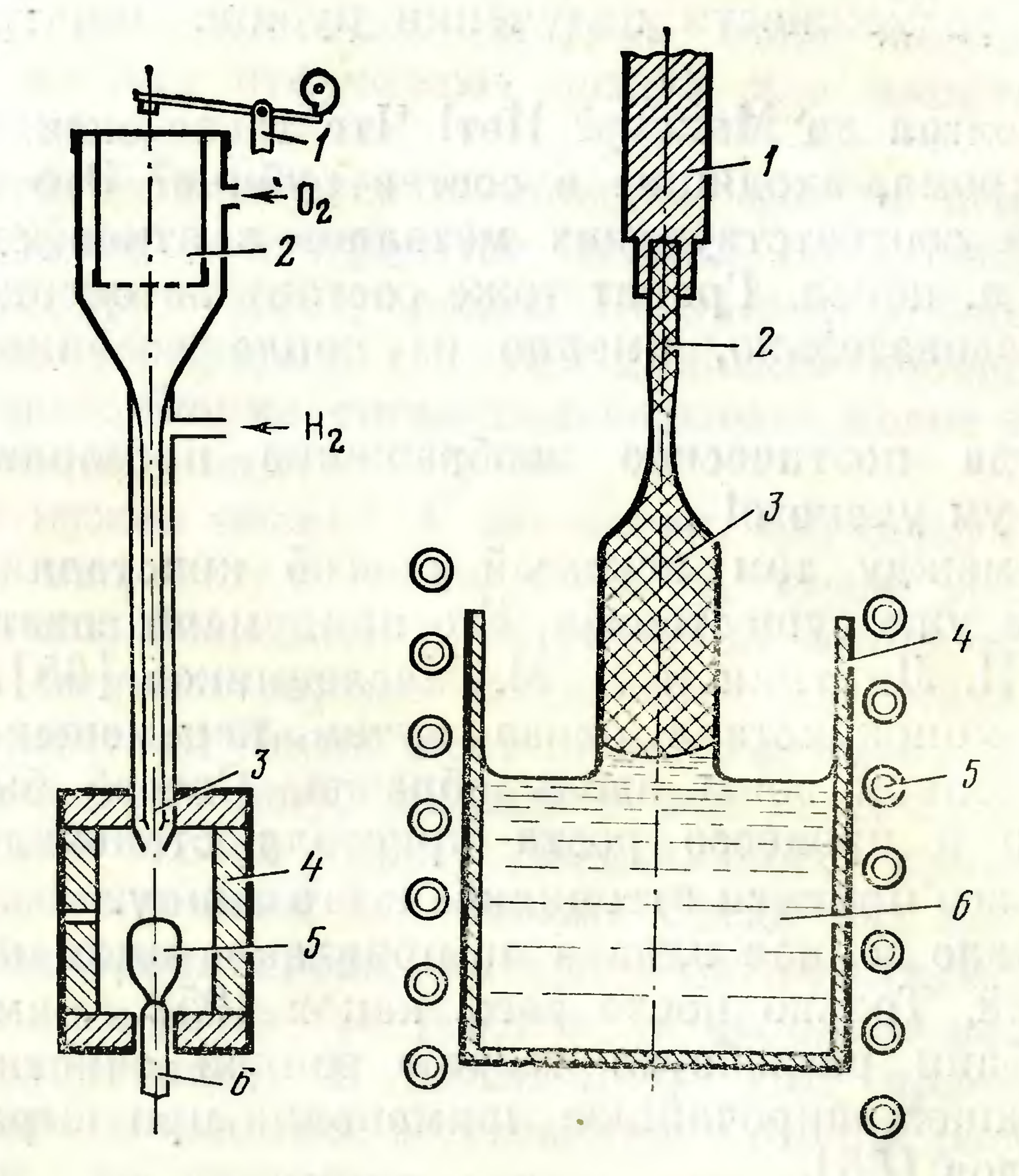


Рис. 16. Схема установки Вернейля

1 — дозирующее устройство; *2* — сосуд с решетчатым днищем для смеси оксидов алюминия и хрома; *3* — сопло горелки; *4* — экран; *5* — кристалл; *6* — кристалл-затравка

Рис. 17. Схема установки Чохральского

1 — держатель кристалла; *2* — затравочный кристалл; *3* — кристалл; *4* — тигель; *5* — нагреватель; *6* — расплав

Вспомним тысячелетней давности спор между поэтом и ученым. Персидский поэт Мансур Муваррид ал-Фариси в одном из стихотворений написал:

Пламя во дворце пылает — здесь алхимия царит,
Пепел превращает в яхонт, огненный гранат творит.

(*Перевод С. Ахметова*).

Бируни так прокомментировал эти строчки: «Правда, все в мире способно перейти из одного состояния в другое. Но в данном случае это один из приемов, которым пользуются поэты для чрезмерного восхваления с по-

мощью лжи» [5, с. 73]. Другими словами, Бируни сомневался в возможности получения рубина или граната из пепла.

Но солгал ли Мансур? Нет! Что такое оксиды алюминия и хрома, входящие в состав рубина? Это продукты сгорания соответствующих металлов в атмосфере кислорода, т. е. пепел. Гранат тоже состоит из оксидов металлов. Следовательно, именно из пепла возникают самоцветы.

Иногда поэтическое воображение прозорливее, чем строгий ум ученого!

...А между тем искомый способ кристаллизации из расплава уже существовал. Его придумали советские ученые В. И. Лихтман и В. М. Масленников [65]. Они получили монокристалл олова путем перемещения узкой расплавленной зоны вдоль образца. Способ был хорош тем, что в процессе роста кристалл становился чище, так как все примеси отгонялись к его концу.

Вначале зонная плавка не привлекла внимания исследователей. Только после того, как в 1952 г. американец Дж. Пфанн разработал теорию зонной очистки, новый метод нашел широчайшее применение при выращивании кристаллов [66].

Однако для кристаллизации ИАГ способ требовал аппаратурного оформления. В нашей стране за это дело взялась группа ученых Института кристаллографии АН СССР (ИКАН) под руководством Х. С. Багдасарова [63, т. 3, с. 356; 64, с. 88].

Как они рассуждали?

ИАГ плавится при температуре 2203 К. Следовательно, нагреватель должен выдерживать еще более высокие температуры. Для этой цели подходит спираль, согнутая из вольфрамового прута.

Раскаленный нагреватель будет излучать тепло во все стороны. Это невыгодно. Значит, следует окружить его со всех сторон экранами. Экраны можно делать из вольфрама и молибдена. Совокупность экранов назвали уютным словом «домик».

Да, но при высоких температурах вольфрам и молибден горят на воздухе, словно сухие дрова. Следовательно, «домик» надо заключить в колпак, из которого система насосов откачает воздух до состояния космического вакуума (0,01–0,001 Па). Можно также под колпак напустить какой-либо инертный газ (азот, аргон, водород),

который не поддерживает горения. Между прочим, в электрических лампочках спираль тоже вольфрамовая. Поэтому из них откачивают воздух или наполняют их инертным газом.

С зоной нагрева все в порядке, можно подумать о тигле. Видимо, его придется делать из молибденового листа: вольфрам более хрупок. Контейнер должен иметь прямоугольную форму, с узким длинным носиком в передней части. Форма тигля подсказывает новое название для него — «лодочка».

Зачем нужен носик? А вот зачем. «Лодочку» выставляют под нагреватель таким образом, чтобы расплав заполнил носик. Включают электрический мотор, который с помощью системы передач вытягивает «лодочку» из витков нагревателя. Носик постепенно выезжает в сравнительно холодную зону, расплав в нем застывает. Слиток представляет собой массу мельчайших кристалликов ИАГ, расположенных как попало. Среди них всегда найдется один, ориентировка которого соответствует наилучшим условиям роста (энергетически выгодное положение, говорят синтетики). В дальнейшем этот кристаллик в соответствии с законом естественного отбора расталкивает соседей, не сумевших занять выгодного положения, и разрастается на всю лодочку.

Остаются невыясненными еще кое-какие вопросы.

Нагреватель раскален почти до 2400 К. Никакой «домик» не удержит такого жара. Колпак покраснеет, к установке не подойти. Ну что ж, в стенках колпака следует проделать полости, по которым побежит охлаждающая вода.

А каким образом поддерживать тепловой режим расплава? Надо обратиться к электронщикам, они помогут.

А как сделать, чтобы выращенный кристалл охлаждался с любой, наперед заданной скоростью? Ответ опять дадут электронщики.

Вопросов и проблем было много. Но со временем конструкторская мысль материализовалась в кристаллизационной установке. Ее назвали «Сапфиром», потому что первый кристалл, выращенный на ней, был именно драгоценный лейкосапфир.

А некоторое время спустя на «Сапфире» был получен кристалл ИАГ. Каких он был размеров? При толщине 1,5 см он имел ширину 8 и длину 10 см. Он был прозрачен, бесцветен и приятно оттягивал руку более чем полу-

килограммовым весом. «Сапфир» был показан на международной выставке и удостоился золотой медали.

На основании разработок ИКАНа было решено организовать промышленное производство кристаллов ИАГ для нужд ювелирной промышленности. К делу подключился Всесоюзный научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС), другие институты и заводы электронного машиностроения. В конструкторских бюро разработали серийную установку «Протон-1» для выращивания кристаллов лейкосапфира и граната. Производство ИАГа стало на промышленную ногу.

Между тем группа Багдасарова ушла вперед. Она изменила размеры нагревателя и другие характеристики установки, в результате чего появился «Сапфир-1М» (буква «М» означает — модернизированный). Габариты лодочки увеличились вчетверо, в связи с чем получаемые кристаллы потяжелели почти до 2 кг. Скорость вытягивания лодочки из зоны нагревателя увеличили с 4 до 8 мм/ч. Таким образом, громадный ювелирный гранат вырастал всего за 2—2,5 сут.

Промышленность освоила выпуск модернизированной установки. Электропечь поражала взгляд мощным колпаком, обилием измерительных приборов, разноцветными лампочками и плафонами. К сожалению, назвали заводской вариант длинно и уныло: электропечь сопротивления горизонтальная вакуумная колпаковая. Сокращенно — СГВК. Но название искупали длинные и весело сверкающие кристаллы ИАГа.

Сейчас на многих заводах страны — в Москве, на Урале, в Армении, на Украине — выращивают ювелирный гранат. Годовая производительность исчисляется тоннами прекрасного ограночного сырья.

В соперничестве с природой человек вышел победителем. Причем победил он в троеборье. Во-первых, вырастил гранат, создать который природе оказалось не по средствам (слишком мало у нее иттрия). Во-вторых, размеры искусственных кристаллов во много раз превысили размеры кристаллов естественных. В-третьих, добыча граната из копей и россыпей не идет ни в какие сравнения с производительностью заводов.

Еще несколько нюансов выращивания ИАГа.

Сначала оксиды иттрия и алюминия загружали в «лодочку» в полном соответствии с химической формулой

граната. Всякий раз примерно четверть кристалла в конце оказывалась мутной. В чем дело? Исследовали мутные участки и убедились, что в них недостает оксида алюминия. Оказывается, глинозем в условиях космического вакуума и высоких температур испаряется, как вода. С тех пор в «лодочки» всегда кладут некоторый избыток оксида алюминия.

А бывало еще и такое. Опыт прошел нормально, охлаждающая вода и электроэнергия подавались бесперебойно. Насос тарахтел, трансформатор гудел, «лодочка» ехала. Вытащишь кристалл — а он исполосован трещинами. Много сил и времени ушло, пока нашли верный режим охлаждения, нужную толщину стенок «лодочки» и массу других факторов, пока не научились выращивать кристаллы почти без трещин.

Потом еще забота — носик. Длина его составляет 5—7 см, и, значит, несколько часов «лодочка» ползет непроизводительно. Несколько часов товарный продукт не растет. А что если не полагаться на случайное появление зародышевого кристалла? Что если в носик заведомо вставлять затравку ИАГа? Попробовали — получилось. В результате продолжительность кристаллизации уменьшилась на несколько часов.

Некоторые опасения вызывала скорость выращивания гранатов. Помня о том, что в гидротермальных и пегматитовых условиях ИАГ растет медленно, «лодочки» на установках вначале тянули со скоростью 2 мм/ч. Потом попробовали четыре — получилось. Восемь — тоже получилось. Сейчас в некоторых опытах «лодочка» несется на всех парусах — 12 мм/ч.

А сколько бились с шихтой! Оксиды иттрия и алюминия имеют вид порошков. Смешаешь их, засыплешь в «лодочку», утопчешь — вроде полным-полна коробушка. А расплавишь шихту — она едва закроет донышко, усела. Очень уж мала плотность порошка. Спасибо ученым Физического института АН СССР (ФИАН), которые изобрели печку на токах высокой частоты и специальный водоохлаждаемый тигель [64, с. 83]. На такой установке был выращен новый ювелирный и технический кристалл фианит (создатели его удостоены Ленинской премии в 1980 г.). Установка пригодилась и для гранатчиков. В ней «варят» сразу несколько килограммов плотной шихты, которую затем дробят и загружают в «лодочки» для кристаллизации в печах СГВК.

Вот сколько трудностей пришлось преодолеть, чтобы получить гранаты, которых нет в природе!

Сейчас кристаллизация иттриево-алюминиевого граната — обычное дело. Привычка. Где-то даже рутина. Двухкилограммовым блоком никого не удивишь. На всесоюзных конференциях демонстрируют цветные слайды, на которых изображены очаровательные лаборантки, сидящие в обнимку с кристаллами, причем размеры кристаллов соизмеримы с ростом девушек.

... И все-таки нет-нет да и замрет сердце, когда откроешь установку и вытащишь из нее увесистый, еще теплый кристалл.

Драгоценность, в состав которой входят не только оксиды...

ПОЛНЫМ-ПОЛНО ГРАНАТОВ

Вы еще не забыли М. Л. Кейта? Того самого Митчелла Л. Кейта, который вместе с Х. С. Йодером впервые синтезировал и описал иттриево-алюминиевый гранат? С тех пор прошло 15 лет. Другие интересы и заботы закружили ученого. ИАГ был одним из эпизодов его научной биографии, эпизодом интересным, результативным и... полузабытым. Нельзя же помнить каждое синтезированное соединение, тем более что их было много.

Однажды Кейту принесли два ограненных демантоида, чтобы узнать мнение геммолога. (Геммолог — это специалист по драгоценным и поделочным камням, в какой-то мере эксперт ювелирных изделий.) Кейт быстро определил, что один из камней является зеленым цирконом. А вот второй самоцвет, похоже, был действительно демантоидом. Ограненный в виде овала, он весил 2,94 карата и привлекал внимание прекрасным зеленым цветом, характерным для демантоидов, блеском, игрой. В камне были мелкие трещинки, заполненные красноватой жидкостью, что указывало на его природное происхождение.

Как раз в описываемое время Кейт исследовал новый источник света для фирмы «Райнер микроскоп» и снимал спектры различных минералов. Он решил исследовать самоцвет, ожидая увидеть полный спектр демантоида. Результат ошеломил его.

На фотографии спектра ученый увидел 10 сильных и 20 более слабых линий. Ни одна из них не была характерна для демантоида. По спектральному паспорту камень больше напоминал бриллиант. Но не алмаз же это, в самом деле!

Удивленный Кейт пошел к своему коллеге Б. В. Андерсену и попросил изучить свойства камня.

Исследования показали, что удельный вес самоцвета оказался равным 4600 (у демантоида, как вы помните, 3840). Показатель преломления света в камне составлял 1,834 (у демантоида 1,890). При сильном освещении камень из зеленого становился красным, что указывало на присутствие хрома.

И тут Кейта осенило: это же тот самый иттрогранат, который они вырастили с Йодером! Искусственный иттрогранат, окрашенный оксидом хрома в зеленый цвет. Выращен он скорее всего методом из раствора в расплаве, на что указывают включения оксида свинца по трещинкам. Кейт вспомнил недавно читанную статью, в которой кристаллы ИАГ описывались как лазерный материал. Но об их ювелирном применении не было ни слова. По-видимому, зеленый самоцвет стал первым образцом, попавшим в руки геммолога. Кейт хмыкнул, представив, как смеялись бы друзья. Хорош папаша, который не узнал собственного ребенка!

Все это изложено в статье М. Л. Кейта, опубликованной в геммологическом журнале [67]. Юмор и самокритичность прекрасно характеризуют ученого. В заключение он пишет: «Возможно, самым волнующим свойством нашего камня явилась его полная неожиданность. Он был предложен как зеленый гранат за очень высокую цену и был куплен лицами с очень высокой репутацией по обе стороны океана. Они приняли его за демантоид. Автор был готов сделать то же самое».

Да, 15 лет для современной науки — срок немалый. За это время ученые вырастили не только ИАГ, но и множество других подобных соединений. Структура нового граната оказалась весьма плодотворной. Она позволяла вместо иттрия и алюминия встраивать любые трехвалентные элементы с близкими ионными радиусами. В первую очередь это относилось к лантанидам.

Как известно, клетку № 57 в периодической системе Д. И. Менделеева занимают сразу 15 элементов. По химическим свойствам они напоминают иттрий и могут замещать его в различных соединениях. Ионные радиусы гадолиния (Gd), тербия (Tb), диспрозия (Dy), гольмия

(Ho), эрбия (Er), тулия (Tm), иттербия (Yb) и лютеция (Lu) равны или очень близки к ионному радиусу трехвалентного иттрия. Лантаниды могут собрать вокруг себя восемь ионов кислорода, превращаясь в строительные «кирпичики» в виде известного нам кубика Томсона. Другими словами, они могут войти в структуру граната вместо иттрия.

Вдохновленные благоприятными теоретическими предпосылками, ученые бросились к своим кристаллизационным установкам. В короткое время они синтезировали и в основном изучили восемь новых гранатов. Назвали их по составляющим оксидам — гольмиево-алюминиевый гранат, например, или лютециево-алюминиевый [68]. Не очень благозвучно, но по сути верно.

Восемь новых соединений — это не предел. Ведь каждый гранат можно рассматривать как конечный член ряда твердых растворов. Смешивая гранаты в различных соотношениях, можно выплавить бесконечно большое количество твердых растворов. Тысячи жизней сотен ученых не хватит, чтобы синтезировать все возможные сочетания и комбинации. А ведь твердые растворы могут быть и на основе трех, четырех гранатов. Перед такими астрономическими числами наука бессильна.

К счастью, синтезировать все гранаты нет необходимости. Достаточно вырастить некоторые из них, чтобы найти общую закономерность и вместо бесчисленного количества точек сразу начертить прямую или кривую линию (ведь из геометрии известно, что линия является совокупностью множества точек).

В процессе работы ученые убедились, что разные лантанидно-алюминиевые гранаты имеют различную окраску. Ряды самоцветов в связи с этим значительно пополнились [68–70].

В табл. 4 приведены данные по составу, свойствам и цветам девяти основных гранатов. Здесь же показаны некоторые твердые растворы между ИАГ и эрбиево-алюминиевым гранатом. Добавляя в ИАГ оксид диспрозия или смесь оксидов эрбия и гольмия, можно получить кристаллы с различными оттенками желтого и оранжевого цветов.

Небольшие добавки оксида хрома окрашивают ИАГ в зеленый цвет с желтоватым оттенком, из-за чего кристаллы кажутся теплыми, веселыми. А вот примесь оксида ванадия придает гранатам строгий и холодный голу-

Таблица 4
Свойства некоторых лантанидно-алюминиевых гранатов

Формула	Показатель преломления	Плотность, кг/м³	Размер ячейки, пм	Цвет
$Y_3Al_2(AlO_4)_3$	1,835	4550	1200,7	Бесцветный
$Y_{2,5}Er_{0,5}Al_2(AlO_4)_3$	1,839	4900	1200,4	Светло-розовый
$Y_2ErAl_2(AlO_4)_3$	1,844	5150	1200,1	Розовый
$Y_{1,5}Er_{1,5}Al_2(AlO_4)_3$	1,847	5520	1199,6	Розовый
$YEr_2Al_2(AlO_4)_3$	1,850	5800	1199,3	Розовый
$Y_{0,5}Er_{2,5}Al_2(AlO_4)_3$	1,854	6090	1198,7	Темно-розовый
$Er_3Al_2(AlO_4)_3$	1,857	6400	1198,4	Малиновый
$Gd_3Al_2(AlO_4)_3$	1,879	5970	1211,1	Бесцветный
$Tb_3Al_2(AlO_4)_3$	1,873	6060	1207,4	Бесцветный
$Dy_3Al_2(AlO_4)_3$	1,868	6200	1204,1	Желтый
$Ho_3Al_2(AlO_4)_3$	1,863	6300	1201,1	Золотисто-желтый
$Tm_3Al_2(AlO_4)_3$	1,854	6480	1195,7	Светло-зеленый
$Yb_3Al_2(AlO_4)_3$	1,848	6620	1192,9	Бесцветный
$Lu_3Al_2(AlO_4)_3$	1,842	6690	1191,4	Бесцветный

бовато-зеленый цвет. К сожалению, эти добавки летучи. Они испаряются из расплава, словно вода из кипящей кастрюли. Растить зеленый кристалл с добавкой оксида хрома в условиях вакуума не имеет смысла: вся добавка улетит, кристалл получится бесцветным. Поэтому приходится наполнять камеру инертным газом, доводить давление до нескольких килопаскалей, чтобы уменьшить испарение летучих оксидов. (С подобным явлением знакомы альпинисты. Чем выше они забираются в горы, тем ниже температура кипения воды. Сварить яйцо вкрутую можно только в герметически закрытой кастрюле.)

Выращивание граната под давлением газов связано с некоторыми техническими трудностями. Да и не все оксиды можно удержать подобным образом. Поэтому ученые ВНИИСИМСа придумали закрытую «лодочку». Она составлена из трубы и конусообразной носовой части (рис. 18). Сзади труба закрывается крышкой, в которой проделано отверстие в виде буквы Z. Во время создания высокого вакуума в камере через это отверстие выходит воздух. Затем шихту плавят и отверстие запол-

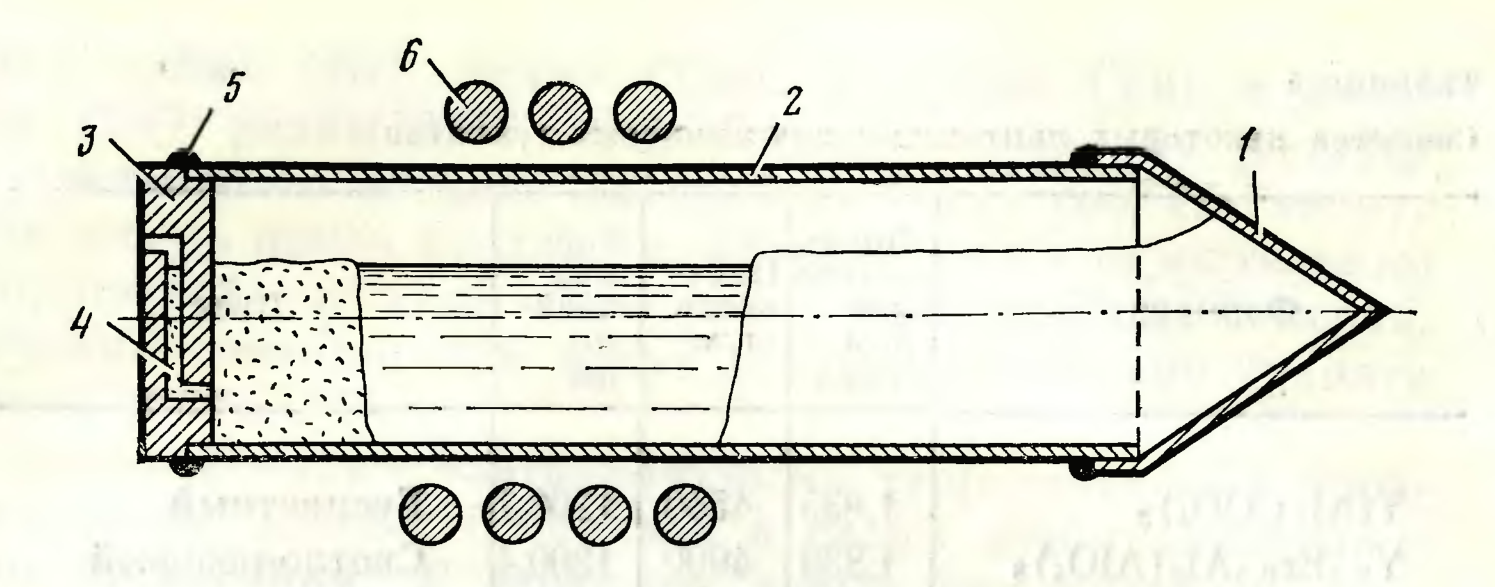


Рис. 18. Схема, иллюстрирующая выращивание граната в закрытом контейнере методом зонной плавки

1 — конусообразный носик; *2* — цилиндрическая труба; *3* — задняя крышка; *4* — Z-образное отверстие; *5* — сварные швы; *6* — нагреватель

няется расплавом. Полость трубы оказывается отсеченной от полости кристаллизационной камеры. Летучему оксиду некуда деваться, и он вынужден войти в состав граната [69, 70].

Так получены прекрасные зеленые гранаты, напомнившие М. Кейту уральский демантоид.

Одновременно с выращиванием лантанидно-алюминиевых гранатов ученые обратили внимание на галлий. В свое время существование элемента предсказал Д. И. Менделеев, назвав его экаалюминием. По его мнению, свойства алюминия и галлия должны быть подобными. А если так, то нельзя ли в гранате весь алюминий заменить галлием?

Оказалось, можно. Было выращено громадное количество иттриево-галлиевых гранатов, лантанидно-галлиевых гранатов и твердых растворов. Ювелирные качества гадолиниево-галлиевого граната очень высоки: показатель преломления света 2,02, дисперсия 0,038 (выше, чем у иных гранатов). К сожалению, из-за летучести оксида галлия гранат растет только при высоких давлениях.

Дальше — больше. Заменили алюминий железом, вырастили иттриево-железные и лантанидно-железные гранаты. Кристаллы оказались аспидно-черными — подстать меланиту, любимцу католических монахов. Потом принялись выращивать гранаты с самым диким набором и соотношением компонентов. Бросили в шихту кальций, литий, натрий, висмут, цинк и магний, марганец и скандий — гранат безропотно рос. Поистине уникальна жизненная сила этого соединения!

А во ВНИИСИМСе вырастили полихромный (многоцветный) гранат. Видели вы когда-нибудь удлиненный кристалл драгоценного турмалина? Один конец его окрашен в зеленый цвет, а противоположный — в розовый. Таковы же и полихромные гранаты, только гамма цветов в них богаче. Половина монокристалла может быть зеленой, другая половина — розовой, желтой, оранжевой или бесцветной. По своему желанию экспериментатор может вырастить гранат с плавным переходом от одного цвета к другому, а может сделать границу между цветами резкой [70]. Представьте себе двухцветный гранат в ограненном виде. Впечатляет!

Наибольшее применение в ювелирной промышленности нашли бесцветные кристаллы ИАГа и кристаллы, окрашенные в розовый и зеленый цвета. Материал оказался благодатным для огранки самоцветов в современных условиях. Крупные прямоугольные блоки идеально подходят для автоматических ограночных линий. Такая линия похожа на комбайн, с одной стороны которого загружают сырье, а с другой сверкающим камнепадом сыплются готовые изделия. Все операции — пилка, подбивка, шлифовка, полировка — происходят автоматически.

Выращивание крупных блоков граната (и не только граната) дало окончательный ответ на почти гамлетовский вопрос: гранить или не гранить кристаллы. Как известно, в древности прежде всего ценили природные формы самоцветов. В алмазах это были октаэдры и тетраэдры, в гранатах — ромбододекаэдры, в рубинах — шестиугольные призмы. Индусы ни в коем случае не гранили алмаз, разве что иногда приполировывали матовые грани. Вспомним знаменитый алмаз «Шах» — он сохранил естественную продолговатую форму. Даже греки при всей их любви к геометрии и геометрическим фигурам не гранили кристаллы, а любовались ими в том виде, как их создала природа.

После изобретения различных видов огранки, несомненно увеличивших красоту самоцветов, все-таки находились ортодоксы, которые выступали против. Нарушение природных граней кристаллов они считали варварством. Они утверждали, что кристаллы красивы сами по себе. Они говорили, что огранка камней равносильна подрезке деревьев в форме птиц, кораблей и верблюдов. Какой-то резон в их словах был. Действительно, смешно выглядела бы береза, подрезанная в виде куба или цилиндра.

Однако не все природные кристаллы имеют идеальные формы. Во многих камнях есть дефекты (трещинки, пузырьки, включения), которые могут быть удалены только в процессе огранки. Обработка подобных камней совершенно необходима. Еще более необходима обработка крупных искусственных кристаллов. Ведь хранить многокилограммовые блоки можно только в музеях. А как быть с многочисленными любителями ювелирных изделий, которые хотят ежедневно любоваться самоцветами?

Итак, вопрос об огранке драгоценных камней был решен положительно.

Но тут возник другой, еще более спорный вопрос: можно ли считать искусственно полученный камень драгоценностью? Не подделка ли это? Варят же различно окрашенные стекла, имитирующие самоцветы. Добавка оксида свинца в стекло поднимает показатель преломления почти до алмазного (например, показатель преломления света во флинтглассе № 87 равен 1,998). Стекла с другими добавками могут по цвету напоминать изумруд, сапфир, аметист, рубин. Однако твердость их низка. Через непродолжительное время на гранях неминуемо появляются царапины, изобличающие подделку.

Крупнейший знаток драгоценных и поделочных камней профессор Герман Банк пишет:

«Конечно, химический состав синтетических и соответствующих природных камней одинаков, и цвета их тоже могут быть идентичными или почти идентичными. И все же синтетические камни — это только копии, а не оригиналы. Человек может изготовить их в любом количестве, любых расцветок, обычно без затраты больших средств. А то загадочное, что связано с образованием драгоценных камней в природе, все еще таит в себе большее очарование, нежели точное знание принципа действия кристаллизатора Вернейля и условий получения искусственных камней. Тем не менее и синтетические камни принадлежат к миру драгоценных камней. Каждому дано решать для себя, как он представляет себе свой мир драгоценных камней: намерен ли он удовлетвориться хорошей копией или же по-прежнему ценит лишь оригинал!» [6, с. 96].

Позиция геммолога выражена совершенно четко — синтетический камень отнюдь не подделка, но и не оригинал. Это всего лишь хорошая копия.

С мнением Г. Банка в общем совпадает международное соглашение, принятое в 1963 г. Оно гласит:

«Синтетические камни представляют собой полученные химическими или техническими методами изделия, химические и физические свойства которых в своих существенных чертах совпадают с таковыми настоящего минерального вида, по которому они названы. Степень совпадения этих свойств не должна выходить за пределы колебаний соответствующих свойств драгоценных камней, имитированных синтетическим путем. К числу синтетических драгоценных камней можно относить также кристаллы химико-технических продуктов, обладающих ювелирными качествами» [6, с. 93].

Однако не все геммологи согласились с таким решением. Действительно, искусственные алмаз, рубин, изумруд можно считать копиями природных самоцветов. Они аналогичны по химическому составу, структуре, многим физическим свойствам. А как быть с монокристаллами ИАГа? Ведь в этом случае больше различий, чем совпадений. Действительно, в ИАГе совершенно нет оксида кремния, зато очень много оксида иттрия (который, к слову сказать, стоит недешево). По твердости, показателю преломления, дисперсии, плотности искусственные гранаты значительно превосходят гранаты природные.

Больше того, добавив в шихту оксид кобальта, ученые вырастили гранат голубого цвета [70]. Голубой карбункул! В природе не может быть голубых гранатов, это мы знаем.

И еще не все. Ученые ВНИИСИМСа нашли добавку, которая окрашивает ИАГ в глубокий сапфирово-синий цвет. При дневном освещении ограненные камни играют чистыми васильковыми огнями, а вечером в них появляются аметистовые искры.

Приняв во внимание все возражения, специальная комиссия геммологов в 1970 г. узаконила следующее предписание:

«Синтетические камни суть окристаллизованные или рекристаллизованные продукты, получение которых полностью или частично является делом рук человека. Их химический состав, кристаллическая структура и (или) физические свойства в широком диапазоне совпадают с таковыми их природных прототипов» [6, с. 93—94].

Чувствуете разницу? В предписании появилось слово «прототип». (В скобках отметим, что почти все литера-

турные персонажи имеют прототипов, но от этого оригинальность Евгения Онегина, Печорина, Базарова, Мастера и Маргариты ничуть не убывают.) Искусственные гранаты — это не копии, а вполне самостоятельные самоцветы, диалектическое развитие природных прототипов. Вы можете совершенно спокойно идти в ювелирный магазин покупать кольцо, перстень или брошь с ограненным кристаллом ИАГа, не сомневаясь в подлинности самоцвета.

Еще несколько слов о гранатах.

Писатель С. Алексеев по многочисленным книгам и документам оценил психологическое воздействие различных окрасок на человека. Вот как, по его мнению, мы воспринимаем цвета:

«Желтый — возбуждающий, оживленный, теплый, бодрый, веселый, суетливый, кокетливый, несколько дерзкий. Цвет веселия и шутки. Символ солнечного света, тепла, счастья.

Оранжевый — возбуждающий, жаркий, бодрый, веселый, пламенный, жизнерадостный. Цвет шумный, кричащий, не интимный.

Красный — возбуждающий, горячий, самый активный и энергичный, экспансивный, мужественный, страстный, кричащий, цвет доблести, силы, мощи, храбрости. Огонь, пламень, жар...

Зеленый — спокойный, умеренный и освежающий; создает впечатление мягкого, приятного и благотворного покоя... Символ весны, плодородия, юности, свежести, жизни, радости, надежды, воспоминания» [25, т. 2, с. 217].

Существуют по крайней мере три варианта наблюдения игры световых лучей в гранатах.

Эффектнее всего самоцветы смотрятся при сильном солнечном или электрическом освещении. Небольшой поворот или покачивание камня высекают яркие красные, желтые, зеленые, голубые вспышки, слепящие глаз. Именно один глаз, потому что отраженные лучики очень тонки и попадают то в левый, то в правый зрачок. Это создает какое-то странное, необычное, необъяснимое словами ощущение. Живописны огоньки, загорающиеся на самой кромке камня — будто пылает огненная росинка. Небольшой поворот — и по росинке пробегают все цвета радуги. Особенно восхитительны огненно-красные росинки на уголке зеленого или голубого граната или

огненно-голубые на кромке золотисто-желтого граната. Впрочем, голубые огни на голубом карбункуле, или зеленые на зеленом, или желтые на желтом тоже прекрасны. Любование вспыхивающими и гаснущими искрами никогда не надоедает.

Здесь надо сказать, что ИАГ с добавкой оксида эрбия под лучами солнца имеет розовый цвет, а при электрическом освещении становится желто-розовым. В кристаллах ИАГ с добавкой оксида хрома при очень сильном освещении наблюдаются кроваво-красные участки, производящие сильное впечатление. Будто капли крови в зеленой траве!

Теперь повернитесь спиной к сильному источнику света. Все искры, колющие глаз, немедленно погаснут. Камень как бы изнутри засияет мягким, нежным, спокойным светом. Это сияние, голубое, зеленое или желтое в зависимости от цвета камня, действует успокаивающе, умиротворяюще.

Наконец, ограненные гранаты хорошо рассматривать при рассеянном освещении (густая облачность, ранние сумерки). В этом случае пестрая игра и внутреннее сияние отсутствуют. Полированные грани камня становятся маленькими зеркалами, многократно отражающими свет. Создается впечатление беспредельной глубины самоцвета, светлой бездны, уводящей взгляд. Словно открывается маленькое окошко, глазок в какое-то иное пространственное измерение. В рассеянном свете лучше всего видна собственная окраска камня, которую в других случаях забивают слепящие искры или сияние.

Три различных способа освещения как бы выявляют триединый характер граната. То он по-детски ярок, шумлив, непоседлив; то его переполняет зрелая сила, стремление дать больше, чем взято; наконец, он выявляет мудрую глубину, свойственную преклонному возрасту.

Естественно, все эти качества надо научиться видеть. Кроме того, за камнем надо ухаживать, время от времени мыть его мыльным или содовым раствором (чтобы убрать жировые пятна), насухо вытирать.

Гранат чрезвычайно стоек. Если не царапать грани алмазом, не бить по камню молотком, не нагревать до 800 К и не бросать затем в воду, то он проживет века. Он будет украшать и бабушку, и маму, и дочку, и внучку. Фамильная драгоценность!

Вот что такое иттриево-алюминиевый гранат, подаренный людям Х. С. Йодером, М. Л. Кейтом, Х. С. Багдасаровым и многими-многими тысячами ученых и производственников.

МЕДЛЕННЫЕ ГРАНАТЫ

Эта глава будет самой короткой, иначе пришлось бы писать новую книгу. Между тем монографии о техническом применении искусственных гранатов уже написаны [71, т. 1, с. 318—324]. Мы лишь перелистаем их.

О лазерах весь мир узнал в 1964 г., когда Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и Ч. Таунсу присудили Нобелевскую премию. Лазер стал модной темой популярных лекций и книг, в том числе фантастических. Прототипом лазера был объявлен гиперболоид инженера Гарина, хотя принципы действия обоих аппаратов совершенно различны. В телефильме «Крах инженера Гарина» гиперболоид даже внешне напоминает лазерную установку.

Лазер немыслим без рабочего тела — активной среды, в которой зарождается мощное излучение. В первых лазерах роль активной среды играли монокристаллы рубина, которые испускали свет в узком диапазоне волн. Это не удовлетворяло ученых, и они искали новые лазерные материалы.

Вскоре выяснилось, что силикатное стекло с примесью ионов неодима тоже может быть активной средой. Так как неодим входит в группу лантанидов, возник вопрос: не окажут ли благотворного влияния и другие элементы этой обширной группы? Ответ был положительным. Отсюда недалеко до монокристаллов ИАГа, которые в любых соотношениях смешиваются с лантанидно-алюминиевыми гранатами. Так появились активные среды, состоящие из ИЛГа с примесью самария, диспрозия, тулия, празеодима, неодима, эрбия, гольмия. В дальнейшем количество лазерных материалов росло со скоростью снежного кома: ИАГ с добавками хрома, никеля, кобальта, ванадия; лантанидно-галлиевые и лантанидно-германиевые гранаты с различными добавками. Диапазон длин волн весьма расширился. Сейчас возможно получение лазерных лучей, окрашенных во все цвета солнечного спектра.

Лазеры прочно вошли в жизнь. С помощью «светового скальпеля» проводят хирургические операции, лечат некоторые виды рака. Лазерные лучи режут и сваривают металлы, прожигают отверстия в любых материалах. Лазеры способствуют развитию голографии и получению термоядерной плазмы. С помощью лазера уточнили скорость света и промерили расстояние между Луной и Землей. На 6-й Международной конференции по росту кристаллов (Москва, 1980 г.) Х. С. Багдасаров показал фильм об использовании лазерного нагрева для получения кристаллов, образующихся в экстремальных условиях. Впервые ученые зафиксировали на пленке появление высокотемпературного расплава, процессы затравливания и роста монокристаллов ИАГа и лейкосапфира. Рабочим же телом в лазере служил кристалл ИАГа с примесью оксида неодима [72].

Не забыли ученые и об иттриево-железных и лантанидно-железных гранатах. Эти черные кристаллы относятся к классу ферромагнитных веществ. Они прозрачны для тепловых лучей и могут применяться в оптических приборах и в вычислительной технике. На основе монокристаллических пластин или пленок феррит-гранатов созданы интегральные схемы с повышенной плотностью записи информации (около ста тысяч бит на одном квадратном сантиметре). Магнитные головки из феррит-гранатов применяются в магнитофонах для записи, воспроизведения и стирания сигналов звукового и видеодиапазонов. Они отличаются большей твердостью, чем металлические головки, и позволяют увеличить скорость движения магнитной ленты до 40 м/с.

Настоящую революцию в техническом применении монокристаллов произвела работа советского ученого К. Н. Баранского. Фронтовой радиоразведчик после окончания войны пришел в Московский государственный университет. В 1957 г. он, будучи уже доцентом университета, опубликовал статьи о возбуждении ультразвуковых колебаний в кристаллах кварца [73, 74].

Попробуем оценить перспективы открытия К. Н. Баранского.

Скорость распространения электрического сигнала в проводнике соизмерима со скоростью света. Скорость же ультразвука в кварце почти в 50 тыс. раз медленнее. Преобразовывать электрический сигнал в ультразвуковой и наоборот ученые умеют. Таким образом, появляется

реальная возможность затормозить, задержать сигнал на определенный отрезок времени.

Где это нужно?

Да в цветном телевидении, например! В приемнике телевизора для формирования цвета необходимо одновременное присутствие двух сигналов. Но сигналы эти совпасть во времени никак не могут, поскольку один возник раньше другого. Вот и преобразуют первый сигнал в ультразвук и пропускают его через кварцевый стержень заданной длины. Сигнал поневоле задерживается и подходит к приемнику одновременно со вторым сигналом. И мы наслаждаемся великолепным сочетанием цветов на экране телевизора.

Система, состоящая из преобразователей сигналов и кварцевого стержня, называется линией задержки. Медленное стекло из рассказа Б. Шоу «Свет былого» — по сути та же линия задержки. Чем толще стекло, тем больше времени требуется свету, чтобы пройти сквозь него. Однако писатель не учел одного обстоятельства: медленное стекло должно искажать и поглощать свет. При некоторой толщине оно будет просто непрозрачным.

В фантастическом рассказе это обстоятельство не имеет значения, ибо автор добивался иного эффекта. Но в действительности искажение и затухание ультразвука вынуждает укорачивать линию задержки.

Есть такой анекдот. «Однажды ходжа Насреддин поднялся на минарет и закричал изо всей силы. Потом, быстро спустившись с минарета, побежал в поле. Все, кто видел его, спрашивали:

— Ходжа, что случилось, куда ты бежишь?

— Бегу,— ответил ходжа,— чтобы узнать, до какого места доходит мой голос» [75, с. 213].

Остроумец ходжа Насреддин мог убедиться, что звук его голоса затухает в воздухе, пройдя пару сотен метров. В кварце ультразвук затухает на протяжении сантиметров.

Встал вопрос о материале с наименьшим затуханием ультразвуковых волн.

Любители научной фантастики, возможно, читали повесть Алмаз «Шах» [76]. При подготовке рукописи к печати из нее выкинули страницу. Привожу ее здесь, так как описываемое имеет отношение к линиям задержки.

«— Ты знаешь,— ликующим голосом заявила Ирина,—

что затухание ультразвуковых волн в плавленом кварце равно 70 децибелам в микросекунду?

— Нет,— ответил Марат.— Меня это не волнует.

— В кристаллах шпинели — 32, в рубине — 20, в гранате с добавкой лантанидов — 15!

— А ты слышала такой анекдот,— в тон ей продолжил Марат.— На одной научной конференции докладчик заявил: «А теперь я сообщу вам некоторые цифры, которые говорят сами за себя... Тридцать два! Двадцать!! Пятнадцать!!!» И ушел с трибуны под восхищенные выкрики ученых.

— Я говорю серьезно,— обиделась Ирина.

— Тогда объясни! Я же твоих децибелов не понимаю.

— Знаешь, что такое линии задержки?

— Очень смутно.

— Это устройства для задержки сигналов на заданный промежуток времени. Они применяются в телевидении, в радиолокационных станциях, в кодирующих и запоминающих устройствах, в электронно-вычислительных машинах, в космической технике. Кабельные линии задержки делают аппаратуру громоздкой, да и затухание волн в них большое, что приводит к искажению сигнала. Поэтому физики придумали ультразвуковые линии задержки на основе монокристаллов различных веществ. Пока наименьшее затухание отмечено в кристаллах ИАГ с добавкой лантанидов».

Да, именно искусственный гранат стал тем самым медленным стеклом для ультразвуковых волн, без которого немыслимо дальнейшее развитие некоторых отраслей техники [77,78].

В электронно-вычислительных машинах гранатовые линии задержки служат своеобразными ячейками памяти. Получив промежуточный результат, ЭВМ преобразует его в ультразвуковой сигнал и отправляет в линию задержки. Около десяти микросекунд сигнал идет по гранатовому стержню. За это время ЭВМ успевает сделать сотни операций и подготовиться к получению информации, необходимой для дальнейших вычислений, из блока памяти.

Гранатовые линии задержки станут глазами и ушами космических кораблей. Помните фантастическую повесть Эдмона Гамильтона «Сокровище Громовой Луны»? [79]. Самое невероятное в ней — не голубоватый минерал левиум, «элемент с обращенной полярностью притяжения», не атомные пистолеты и не чудовищное порож-

дение Оберона — полуразумные Огневики. Самым фантастическим в повести является подвиг пилота Стини.

«Там, на юге, над пламенным огненным морем поднималось в дыму какое-то темное тело. Это был огромный продолговатый «Метеор», грохотавший огненными вспышками килевых дюз. Он ринулся к вулканическому пику над лавовым морем. При малой высоте и огромной скорости он неизбежно должен был разбиться.

— Стини, назад! — напрасно кричал в передатчик Норт.

Слишком поздно! Огромная масса «Метеора» рванулась вниз к узкой площадке. Грохот ревущих дюз заглушил раскаты грома. Корабль падал, падал, чтобы разбиться и утонуть в огненной лаве...

Килевые дюзы изрыгали вниз бешеное пламя, разбивая море лавы в чудовищный фейерверк огненных брызг. Уравновесившись на этих огненных столбах, качаясь во все стороны в бурных вихрях, мечущихся вокруг него, корабль замер, паря в воздухе.

Казалось безумием думать, что какой-нибудь пилот сможет произвести здесь, в этих воющих дымных вихрях, подвесную посадку — самый сверхчеловеческий из всех пилотских подвигов. Но Стини сделал это! Играя на килевых и боковых дюзах, как на огненном органе, он несколько секунд держал корабль в равновесии...»

Описанное не может осуществиться ни через сто, ни через двести лет. Человек, будь он самым выдающимся пилотом космических кораблей, слишком медлителен, чтобы воспринимать информацию о быстроменяющейся обстановке, перерабатывать ее и реагировать посредством «игры на килевых и боковых дюзах». Э. Гамильтон был бы значительно ближе к истине (но значительно менее эффектен!), если бы передал управление бортовому компьютеру, связанному с системой локации на гранатовых линиях задержки.

Такой компьютер рассылает во все стороны электромагнитные волны, которые отражаются от препятствий, возвращаются и улавливаются приемными устройствами. Одновременно ультразвуковые сигналы вводятся в пучок гранатовых стержней различной длины. Время пробега луча до препятствия и обратно должно совпасть с временем прохождения сигнала по одному из стержней, длина которого известна. Таким образом, расстояние до препятствия измеряется с точностью до сантиметра в

течение каких-то микросекунд (пилот за это время и моргнуть не успевает!). Располагая точной информацией об окружающей обстановке, компьютер начинает игру на «огненном органе дюз». Подвесная посадка проходит штатно, как говорят космонавты.

Можно долго фантазировать на тему о применении ультразвуковых линий в частности и гранатов вообще.

Книга кончается, осталось сказать несколько слов. История гранатов, как и любая история, похожа на нас с вами. Мы не помним своих младенческих лет и затрудняемся сказать, чем будем заниматься через год. Отдаленное прошлое гранатов затянуто туманом, будущее их в деталях никому неизвестно. Каждое новое открытие, как новый сияющий самоцвет, украшает и дополняет гранатовое ожерелье.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Даль В. И.* Толковый словарь живого великорусского языка. М.: Рус. яз., 1978.
2. Словарь русского языка XI—XVII вв. М.: Наука, 1975.
3. Изборник. М.: Худож. лит., 1969.
4. Словарь русского языка XI—XVII вв. М.: Наука, 1980.
5. *Бируни Абу-р-Райхан ал.* Собрание сведений для познания драгоценностей (минералогия). М.: Изд-во АН СССР, 1963.
6. *Банк Г.* В мире самоцветов. М.: Мир, 1979.
7. *Винчелл А., Винчелл Г.* Оптические свойства искусственных минералов. М.: Мир, 1967.
8. БСЭ. 3-е изд., 1971.
9. *Белов Н. В.* Очерки по структурной минералогии. М.: Недра, 1976.
10. *Белов Н. В.* Гранная морфология кристаллов в свете их тонкой структуры.— Кристаллография, 1958, вып. 3, № 3, с. 352—356.
11. *Джами.* Избранные произведения. Л.: Сов. писатель. Ленингр. отд-ние, 1978.
12. *Хайям О.* Рубаи. Баку: Азернешр, 1969.
13. *Камоэнс Л.* Сонеты любви и скорби.— Лит. газ., 1980, 15 окт., № 42, с. 15.
14. Тысяча и одна ночь. М.: Худож. лит., 1975.
15. Средневековой роман и повесть. М.: Худож. лит., 1974.
16. *Рабле Ф.* Гаргантюа и Пантагрюэль. М.: Худож. лит., 1973.
17. *Дюма А.* Собрание сочинений: В 12-ти т. М.: Худож. лит., 1979.
18. *Дойль А. К.* Собрание сочинений: В 8-ми т. М.: Правда, 1966.
19. *Кузнецова О. Д.* Гранат — драгоценный камень, цветом Темнокрасцый.— Рус. речь, 1981, № 3, с. 135—139.

20. *Тургенев И. С.* Собрание сочинений: В 6-ти т. М.: Правда, 1968.
21. *Уайльд О.* Избранные произведения: В 2-х т. М.: Гослитиздат, 1960.
22. *Куприн А. И.* Собрание сочинений: в 9-ти т. М.: Худож. лит., 1972.
23. *Ферсман А. Е.* Воспоминание о камне. М.: Изд-во АН СССР, 1968.
24. *Цветаева М. И.* Стихотворения и поэмы. Л.: Сов. писатель. Ленингр. отд-ние, 1979.
25. *Ферсман А. Е.* Очерки по истории камня. М.: Изд-во АН СССР, 1954.
26. *Ефремов И. А.* Сочинения: В 3-х т. М.: Мол. гвардия, 1975.
27. *Свиридов Г. И.* В краю голубых алмазов. М.: Политиздат, 1978.
28. Воспоминания об Александре Грине. Л.: Лениздат, 1972.
29. *Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н., Гаврилов А. П.* Геология месторождений драгоценных камней. М.: Недра, 1974.
30. *Смит Г.* Драгоценные камни. М.: Мир, 1980.
31. *Пушкин А. С.* Стихотворения. Поэмы. Сказки. М.: Худож. лит., 1977.
32. Практичное изобретение. М.: Мир, 1974.
33. *Беляев А. Р.* Собрание сочинений: В 8-ми т. М.: Мол. гвардия, 1964.
34. *Перельман Я. И.* Занимательная физика. М.: Наука, 1965.
35. *Ахметов С. Ф.* Соискатели.— В кн.: На суше и на море. М.: Мысль, 1981, с. 323—338.
36. *Киевленко Е. Я.* Поиски и оценка месторождений драгоценных и поделочных камней. М.: Недра, 1980.
37. *Дир У. А., Хаци Р. А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы: В 5-ти т. М.: Мир, 1965.
38. Махабхарата. Рамаяна. М.: Худож. лит., 1974.
39. *Бажов П. П.* Собрание сочинений: В 3-х т. М.: Правда, 1976.
40. *Патканов К. П.* Драгоценные камни, их названия и свойства по понятиям армян в XVII веке. СПб., 1873.
41. *Банн Ч.* Кристаллы. Их роль в природе и науке. М.: Мир, 1970.
42. *Ферсман А. Е.* Очерки по истории камня. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
43. *Ферсман А. Е.* Занимательная минералогия. Свердловск: Кн. изд-во, 1954.
44. *Ферсман А. Е.* Рассказы о самоцветах. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
45. *Yoder H. S., Keith M. L.* Complete substitution of aluminium for silicon: the system $3MnO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 — 3Y_2O_3 \cdot 5Al_2O_3$.— J. Mineral. Soc. Amer., 1951, vol. 36, N 7/8, p. 519—533.
46. *Шор О. М., Сажин В. С., Аракелян О. И.* и др. Характеристика соединений типа гидрогранатов, образующихся в системе $Na_2O—CaO—Al_2O_3—SiO_2—H_2O$.— ЖПХ, 1966, т. 39, вып. 11, с. 2460—2466.
47. *Отто Д. Д., Ахметов С. Ф., Пономарев В. Д.* Изучение фазового состава осадков, полученных при обескремнивании высокомодульных алюминатных растворов.— Труды Ин-та металлургии и обогащения АН КазССР, 1964, т. 9. Комплексные способы переработки руд цветных металлов, с. 63—68.
48. *Ахметов С. Ф., Отто Д. Д., Пономарев В. Д.* Изучение фазового состава осадков, полученных при обескремнивании через гидрогранаты низкомодульных алюминатных растворов.— Труды Ин-та металлургии и обогащения АН КазССР, 1964, т. 11. Комплексная переработка рудного сырья Казахстана, с. 25—30.
49. *Ни Л. П., Гольдман М. М., Соленко Т. В.* и др. Окислы железа в производстве глинозема. Алма-Ата: Наука, 1971.
50. *Алькенов А. А., Ахметов С. Ф., Ахметова Г. Л.* Новое искусственное соединение — $Mg_3Al_2O_6 \cdot 8H_2O$.— В кн.: Металлургия и обогащение. Алма-Ата: М-во высш. и средн. спец. образования КазССР, 1969, вып. 5, с. 37—40.
51. *Ахметов С. Ф., Ахметова Г. Л.* Гидротермальный синтез и исследование новых искусственных соединений магния.— Тез. докл. на IX Всесоюз. совещ. по эксперимент. и техн. минералогии и петрографии. Иркутск, 5—8 июня 1973 г. Иркутск: АН СССР, Сиб. отд-ние, 1973, с. 400.
52. *Ахметов С. Ф., Ахметова Г. Л.* Термографическое исследование новых искусственных соединений магния.— Тез. докл. на V Всесоюз. совещ. по терм. анализу. Новосибирск, 3—5 июля 1973 г. М.: Наука, 1973, с. 176.
53. *Лайнер А. И.* Производство глинозема. М.: Металлургиздат, 1961.
54. *Пономарев В. Д., Сажин В. С.* Гидрохимический щелочной способ переработки нефелиновых пород.— Цв. металлы, 1957, № 12, с. 45—51.
55. *Пономарев В. Д., Щербан С. А., Ахметов С. Ф.* и др. Разложение различных глиноземсодержащих пород в автоклавах.— Труды Ин-та металлургии и обогащения АН КазССР, 1964, т. 11, Комплексная переработка рудного сырья Казахстана, с. 31—37.
56. *Рахимов А. Р., Ахметов С. Ф., Пономарев В. Д.* Гидрохимическая переработка доменных шлаков на глинозем.— Изв. АН КазССР, 1963, № 3, с. 43—48.
57. *Ахметов С. Ф., Ахметова Г. Л., Пономарев В. Д.* О новом искусственном минерале из группы натриево-кальциевых гидросиликатов — моничите.— ЖПХ, 1967, т. 40, вып. 8, с. 1701—1708.
58. *Ни Л. П., Романов Л. Г.* Физико-химия гидрощелочных способов производства глинозема. Алма-Ата: Наука, 1975.
59. *Аракелян О. И., Чистякова А. А., Павлов Ю. П.* и др. Образование гидрогранатов в шламах глиноземного производства.— Цв. металлы, 1962, № 8, с. 56—63.
60. *Манвелян М. Г., Ханамирова А. А.* Обескремнивание щелочных алюминатных растворов. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1973.
61. *Шварцман Б. Х., Волкова Н. С.* Изучение влияния добавок CaO и MgO на обескремнивание алюминатных растворов.— Цв. металлы, 1968, № 9, с. 56—58.
62. *Николаев И. В., Лайнер А. И., Тимофеева Л. А.* Роль окиси магния в процессе обескремнивания алюминатных растворов.— Цв. металлургия, 1970, № 9, с. 35—37.
63. *Чернов А. А., Гиваргизов Е. И., Багдасаров Х. С.* и др. Современная кристаллография. М.: Наука, 1980.
64. *Багдасаров Х. С., Карпов И. И., Гречушников Б. Н.* Выращивание кристаллов иттрий-алюминиевого граната. М.: ЦНИИ Электроника, 1976.
65. *Масленников В. М., Лихтман В. И.* Метод получения монокристаллов олова.— Докл. АН СССР, 1949, т. 67, № 1, с. 93—95.
66. *Пфанн В. Дж.* Зонная плавка. М.: Металлургиздат, 1960.

67. *Keith M. L.* Another new synthetic.— J. Gemmology, 1967, vol. 10, N 5, p. 145—148.
68. *Ахметов С. Ф., Ахметова Г. Л., Миренкова Т. Ф.* и др. Исследование некоторых редкоземельно-алюминиевых гранатов.— ЖНХ, 1977, т. 22, вып. 11, с. 2966—2969.
69. *Ахметов С. Ф., Давыдченко А. Г., Поздняков А. И.* и др. Перспективы выращивания цветных разновидностей монокристаллов ИАГ методом горизонтальной направленной кристаллизации.— Тез. докл. на I Всесоюз. конф. «Состояние и перспективы развития методов получения искусственных монокристаллов». Харьков, 18—19 сент. 1979 г. Харьков: ВНИИмонокристалл, 1979, с. 12.
70. *Ахметов С. Ф., Ахметова Г. Л., Давыдченко А. Г.* и др. Выращивание цветных разновидностей иттриево-алюминиевых гранатов методом горизонтальной направленной кристаллизации. — Тез. докл. на 6-й Междунар. конф. по росту кристаллов. Москва, 10—16 сент. 1980 г. М.: Наука, 1980, т. 3, с. 83—84.
71. Справочник по лазерам. М.: Сов. радио, 1978.
72. *Багдасаров Х. С., Дьяченко В. В., Холов А.* Об использовании лазерного нагрева для выращивания высокотемпературных монокристаллов.— Тез. докл. на 6-й Междунар. конф. по росту кристаллов. Москва, 10—16 сент. 1980 г. М.: Наука, 1980, т. 3, с. 6—7.
73. *Баранский К. Н.* Возбуждение гиперзвуковых колебаний в кварце. — Кристаллография, 1957, т. 2, вып. 2, с. 299—302.
74. *Баранский К. Н.* Возбуждение в кварце колебаний гиперзвуковых частот.— Докл. АН СССР, 1957, т. 114, № 3, с. 517—519.
75. Анекдоты Моллы Насреддина. М.: Гослитиздат, 1962.
76. *Ахметов С. Ф.* Алмаз «Шах».— В кн.: Фантастика-80. М.: Мол. гвардия, 1981, с. 198—236.
77. *Ахметов С. Ф., Иванов С. Н., Котелянский И. М.* и др. Затухание ультразвука в легированных кристаллах алюмоиттриевого граната и алюмомагниевой шпинели.— ФТТ, 1977, т. 19, вып. 1, с. 308—310.
78. *Ахметов С. Ф., Иванов С. Н., Медведь В. В.* Поглощение ультразвука в иттрий-алюминиевых гранатах, легированных редкоземельными металлами, при температуре 4,2—77 К.— ФТТ, 1979, т. 21, вып. 6, с. 1710—1714.
79. *Гамильтон Э.* Сокровище Громовой Луны.— Техника — молодежи, 1956, № 1—4.

СОДЕРЖАНИЕ

Спартак Фатыхович Ахметов
ИСКУССТВЕННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ГРАНАТА

Утверждено к печати Редколлегией
научно-популярной литературы АН СССР

Редактор издательства В. П. Большаков
Художник М. М. Бабенков. Художественный редактор Н. А. Фильчагина
Технический редактор Н. П. Кузнецова.
Корректоры А. Б. Васильев, Г. Н. Лащ

ИБ № 24591

Сдано в набор 25.02.82. Подписано к печати 27.04.82. Т-07446.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 1. Гарнитура обыкновенная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 5,04. Усл. кр. отт. 5,3. Уч.-изд. л. 5,4.
Тираж 55.500 экз. Тип. зак. 1423. Цена 35 коп.
Издательство «Наука». 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука». 121099, Москва, Г-99,
Шубинский пер., 10

35 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ КНИГА:

ПЕТРОВ В. П.
Рассказы о поделочном камне.
10 л. 65 к.

Поделочный камень издавна привлекал внимание человека. И сейчас он широко используется как для украшений, так и для изделий различного хозяйственного назначения. Цель книги — познакомить читателя с важнейшими поделочными камнями. В рассказе о каждом минерале автор подробно описывает историю его использования, природу и свойства, условия образования и места нахождения. Рассказы написаны простым языком; вместе с тем все сведения даются на современном научном уровне, в свете новейших данных о строении Земли.

Для читателей, интересующихся вопросами минералогии.

Книги можно предварительно заказать в магазинах Центральной конторы «Академкнига», в местных магазинах книготоргов или потребительской кооперации без ограничений.

Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресу: 117192 МОСКВА В-192, Мичуринский проспект, 12, магазин «Книга-почтой» Центральной конторы «Академкнига»; 197110 ЛЕНИНГРАД П-110, Петрозаводская ул. 7, магазин «Книга-почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига» или в ближайший магазин «Академкнига», имеющий отдел «Книга-почтой».

ИЗДАТЕЛЬСТВО ·НАУКА·